

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA**

**UM MODELO DE REFERÊNCIA PARA MELHORIA DE PROCESSOS INDUSTRIAIS
USANDO CONCEITOS SEIS SIGMA**

Dissertação submetida à

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

para a obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

LILIANA RIOS VELANDIA

Florianópolis, Março de 2006.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA**

**UM MODELO DE REFERÊNCIA PARA MELHORIA DE PROCESSOS INDUSTRIAIS
USANDO CONCEITOS SEIS SIGMA**

LILIANA RIOS VELANDIA

**Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA
ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA
Sendo aprovada em sua forma final.**

Prof. Abelardo Alves de Queiroz, Ph.D
Orientador

Prof. José A. Bellini da Cunha Neto, Dr
Coordenador do Curso de Pós Graduação em Engenharia Mecânica

BANCA EXAMINADORA

Prof. Fernando Cabral, Ph.D
UFSC (Pós MEC)

Prof. Gustavo Daniel Donatelli, Dr.
UFSC (PosMCI- Labmetro)

Prof.^a Olga Regina Cardoso Dr.
UFSC (PPGEP)

Ficha Catalográfica

RIOS, Liliana Velandia.

Um Modelo de Referência para Melhoria de Processos Industriais Usando Conceitos Seis Sigma. Florianópolis, UFSC, Curso de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, 2006.

xiv, 114p.

Dissertação de Mestrado: Engenharia Mecânica

Orientador: Abelardo Alves de Queiroz

1. Prevenção e eliminação de anomalias 2. Seis Sigma 3. Ciclo DMAIC 4. Melhoria Contínua 5. Variabilidade dos processos.

I. Universidade Federal de Santa Catarina

II. Título

“Os seres humanos não nascem para sempre no dia em que suas mães os dão a luz, se não que a vida os obriga a parir-se a si mesmos uma e outra vez”.

“Los seres humanos no nacen para siempre el día en que sus madres los alumbran, sino que la vida los obliga a parirse a si mismos una y otra vez”.

Gabriel García Márquez
Prêmio Nobel Colombiano

*À Gabriela, pela alegria, inspiração e por
preencher o meu espaço durante a minha ausência.*

AGRADECIMENTOS

Ao Brasil por ter me acolhido e brindado a oportunidade de continuar minha formação.

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, pela aceitação, aprendizado, e profissionalismo.

Ao Professor Abelardo Alves pela confiança depositada, pela ajuda e impecável critério nas suas contribuições e orientação.

À Olsen S/A nas pessoas de César Olsen e Hélió Ramos pela política de portas abertas, Kleydson Duarte, Uilians da Silva, Gisele Costa, Jones Risso, Rony Peters, Celso Heck, Ronaldo da Silva e João Nascimento pela valiosa colaboração no fornecimento de informações, levantamento de dados e disposição para o aprendizado.

Aos meus colegas do Geteq: Adrian pelas valiosas contribuições, o apoio e a força desde o início do trabalho, Bruno, Carlos, Giancarlo, Gilberto e Mauricio pelos momentos vividos e conhecimentos compartilhados, Cíntia, Fausto e Vanessa, pela enorme ajuda e paciência na fase de conclusão do trabalho.

Aos meus amigos do LabMat: Raul, Vaneide e Rubens.

Aos meus amigos do Labmetro: Janaina, Bel, Andréa, Flávio, Sânia, Césare, César, Vera, Marcos, Fabrício (*in memoriam*), Luciana, pelas lembranças maravilhosas e pela amizade que transcende fronteiras.

À colônia colombiana da UFSC: Cindy, David, Evelio, Felix, Guber, Jaime, Jairo, Leonel, Leonardo, Omar, Patrícia, Renzo, Rodrigo, William C, William J, Wilson H, Wilson T, Yesid, e Yimmy pela família que fomos ao nosso passo pelo Brasil.

Às outras colônias: Marcus-Maria (Alemanha); Valeria, Daniel, e Gabriel (Argentina); Maria José, César e Oscar (Bolívia); Josiane (Cabo Verde); Victor e Jaime (Chile); Wuili e Fany (Peru); Marisol e Zacarias (República Dominicana), Niubis, Francisco e Paulo (Cuba) e Luis (Espanha).

Aos meus amigos de sempre: Carlos, César, Gonzalo, Javier, Jhon Jairo, Mauricio y Wilson, pelos bons momentos e as recordações.

A Gustavo, John e Luis pelas boas energias enviadas, pela torcida e as lembranças.

Às minhas vovós, María Ignacia e Clementina (*in memoriam*) pelos ensinamentos e o amor.

Ao meu amor, Mario por ser fonte de inspiração, amigo, luz do caminho, companheiro de viagem, por me ajudar a persistir atrás dos meus sonhos, e pelo par de asas para voar.

Às minhas irmãs: Alexandra, Andrea e Paola, pelo amor, grande apoio, confiança e amizade depositados em mim, e pelos detalhes me fizeram sentir próxima de casa.

A Gabriela, por ter enchido de alegria o lar, por ser meu anjo da guarda, e por ser meu combustível todo dia.

A meus pais, María e Gabriel pelo apoio incondicional em cada um dos meus empreendimentos, pela minha educação, pelo amor sem limites e por fazer de mim a pessoa que sou.

A Colômbia, minha pátria amada, pela educação e formação.

A Deus, pela vida, pela luz no meu caminho, pela vontade no meu coração, por tudo o que tenho e sou.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	vi
SUMÁRIO.....	viii
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xiii
ACRÔNIMOS	xiv
RESUMO	xvi
1 INTRODUÇÃO: ELIMINAÇÃO DE ANOMALIAS NO CONTEXTO DO MELHORAMENTO CONTÍNUO	1
1.1 Panorama da Melhoria Contínua Através da Eliminação de Anomalias.....	2
1.2 Melhoramento Contínuo das Operações do Sistema Produtivo	3
1.3 Introdução à Estratégia Seis Sigma	7
1.4 Objetivos da Dissertação	12
1.5 Estrutura do Trabalho	13
2 ESTRATÉGIA SEIS SIGMA PARA ELIMINAÇÃO DE ANOMALIAS	15
2.1 Conceito Seis Sigma.....	16
2.2 Estratégia de Eliminação de Anomalias (DMAIC)	20
2.3 A Equipe DMAIC.....	20
2.4 O Ciclo DMAIC	22
2.4.1 Passo 1: Definir	22
2.4.2 Passo 2: Medir	23
2.4.3 Passo 3: Analisar	25
2.4.4 Passo 4: Melhorar (<i>Improve</i>)	27
2.4.5 Passo 5: Controlar.....	28
2.5 Alguns Procedimentos para Eliminação de Anomalias.....	29
2.5.1 QC <i>Story</i>	29
2.5.2 Análise Por que-Por quê	30
2.6 Contraste entre o Ciclo de Eliminação de Anomalias DMAIC e outras Técnicas	33

3	MODELO DE REFÊRENCIA PARA ELIMINAÇÃO DE ANOMALIAS EM PROCESSOS DE MANUFATURA	36
3.1	Arquitetura do Modelo	37
3.2	Módulo da Rotina do Dia-a-dia.....	39
3.2.1	Padronização.....	40
3.2.2	Eliminação de Desperdício.....	43
3.3	Módulo de Medição do Desempenho.....	45
3.3.1	Métricas da Qualidade.....	47
3.3.2	Métricas Seis Sigma	48
3.3.3	Benchmarking.....	50
3.4	Módulo de Eliminação de Anomalias (DMAIC)	51
3.4.1	Definir.....	52
3.4.1.1	Voz do Cliente.....	53
3.4.1.2	Diagrama SIPOC.....	54
3.4.1.3	Carta de Projeto	55
3.4.2	Medir	56
3.4.3	Analisar.....	57
3.4.3.1	Análise de Processos	58
3.4.3.2	Análise Estatística de Dados	58
3.4.3.3	Ciclo de Análise Causa-Raiz	58
3.4.4	Melhorar	59
3.4.5	Controlar.....	61
3.4.5.1	Poka-Yoke	61
3.4.5.2	Análise de Modos de Falha e seus Efeitos	62
3.4.5.3	Cartas de Controle	64
4	APLICAÇÃO DO MODELO ATRAVÉS DE UM ESTUDO DE CASO	66
4.1	A Empresa	66
4.2	Metodologia.....	68
4.3	Diagnóstico.....	69
4.4	Aplicação do Modelo	70
4.4.1	Módulo da Rotina do Dia-a-dia.....	72
4.4.2	Módulo de Medição do Desempenho.....	74

4.4.3	Módulo DMAIC	76
4.4.3.1	Projeto Seis Sigma para Fase de Projeto	77
4.4.3.2	Projeto Seis Sigma para Fase de Processo.....	81
4.5	Avaliação do Modelo	88
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
5.1	Discussão Referente ao Modelo	89
5.2	Conclusões.....	90
5.3	Sugestões para Trabalhos Futuros	91
	REFERÊNCIAS	93
	APÊNDICE I	97
	APÊNDICE II.....	98
	APÊNDICE III	99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 Modelo de Melhoria da Produção.....	4
Figura 1-2 Ciclo de Melhoria Contínua PDCA.....	5
Figura 1-3 Modelo de Sistema Produtivo.....	7
Figura 1-4 Ciclo DMAIC de Melhoria Seis Sigma.....	8
Figura 1-5 Escada do Sucesso.....	10
Figura 1-6 Definição do Conceito Anomalia.....	12
Figura 2-1 Conceito Seis Sigma e Rendimento.....	18
Figura 2-2 Resultados do Ciclo de Melhoria por Etapas.....	22
Figura 2-3 Medidas Mais Comuns em Cada Elemento do Processo.....	24
Figura 2-4 Diagrama Causa-Efeito com Categorias de Medidas.....	26
Figura 2-5 Ciclo de Análise da Causa Raiz.....	26
Figura 2-6 Análise Por que-Por quê.....	32
Figura 3-1 Modelo de Eliminação de Anomalias.....	37
Figura 3-2 Sequência de Aplicação do Modelo.....	39
Figura 3-3 Seção do Modelo: Módulo Gerenciamento da Rotina.....	40
Figura 3-4 Processo de Padronização nas Empresas.....	41
Figura 3-5 Estrutura dos Padrões Técnicos.....	42
Figura 3-6 Objetivos do Desempenho.....	46
Figura 3-7 Módulo de Medição do Desempenho.....	46
Figura 3-8 Exemplo de Pareto de Métricas da Qualidade.....	47
Figura 3-9 <i>Benchmarking</i> interno (entre operações).....	50
Figura 3-10 Módulo DMAIC.....	52
Figura 3-11 Matriz de Relacionamento (QDF).....	54
Figura 3-12 Diagrama SIPOC.....	55
Figura 3-13 Carta de Projeto.....	56
Figura 3-14 Algumas Ferramentas Úteis na Etapa Análise.....	59
Figura 3-15 Processo Iterativo de Aprendizagem.....	60
Figura 3-16 FMEA de Projeto.....	63
Figura 3-17 FMEA de Processo.....	63

Figura 3-18 Exemplo de Carta de Controle de Médias.	64
Figura 4-1 Metodologia para Estudo de Caso.	68
Figura 4-2 Resultado do Diagnóstico dos Objetivos da Qualidade.	70
Figura 4-3 Menu Principal do <i>Software</i> de Eliminação de Anomalias.	71
Figura 4-4 Resultados do Questionário 3 M's.	73
Figura 4-5 Métricas da Qualidade.	74
Figura 4-6 <i>Benchmarking</i> Interno.	74
Figura 4-7 Formulário de Contagem de Defeitos e Oportunidades.	75
Figura 4-8 Cadeira Odontológica para Estudo de Caso.	76
Figura 4-9 Carta de Projeto Preparada para o Refletor “ <i>Concept</i> ”.	78
Figura 4-10 Dispositivo Foto-Calibrador.	79
Figura 4-11 Sala de Teste do Refletor e Foto-Detector.	80
Figura 4-12 Diagrama SIPOC para Inspeção de Matéria-Prima.	81
Figura 4-13 Diagrama de Processo de Fabricação da Cadeira Tipo Siena.	82
Figura 4-14 Diagrama Causa-Efeito para Inspeção de Matéria-Prima.	83
Figura 4-15 Articulador <i>Flex</i> para Braço Secundário.	84
Figura 4-16 Carta de Médias e Amplitudes para Comprimento da Haste do Articulador <i>Flex</i> para Braço Secundário.	85
Figura 4-17 Carta de Projeto para Fase de Processo.	86
Figura 4-18 Cartas por Atributos através do <i>Software</i>	87
Figura 4-19 Resultados da Avaliação do Modelo.	88
Figura 5-1 Outras Aplicações do Modelo.	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1 Níveis de Objetivos do Seis Sigma.	15
Tabela 2-2 Tabela Simplificada de Conversão de <i>ppm</i> em Sigma.	19
Tabela 2-3 99% de Qualidade Versus Desempenho Seis Sigma.	19
Tabela 2-4 Modelo DMAIC na Melhoria de Processo e Projeto.	21
Tabela 2-5 Subtarefas e Ferramentas Empregadas pelo <i>QC Story</i>	31
Tabela 2-6 Comparação do Seis Sigma com o TQC.	34
Tabela 3-1. Modelo Sugerido para Padrão Técnico de Processo.	42
Tabela 3-2 Modelo Sugerido para SOP.	43
Tabela 3-3 Elementos de uma Declaração da Anomalia.	53
Tabela 4-1 Métricas Seis Sigma.	76
Tabela 4-2 FMEA de Projeto.	79
Tabela 4-3 FMEA de Processo.	83
Tabela 4-4 Resultados do Estudo R&R para Articulador <i>Flex</i>	85
Tabela 4-5 Comparação do Nível Sigma Após Aplicação do Modelo.	87

ACRÔNIMOS

3 M's	<i>MUDA, MURA, MURI</i>
4M1P	Máquinas, Materiais, Medição, Meio Ambiente, Pessoas
5 S's	<i>Seiri, Seiton, Sseiso, Seiketsu, Shitsuke</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIAG	<i>Automotive Industry Action Group</i>
APICS	<i>American Production and Inventory Control Society</i>
Carta R	Gráfico de Amplitudes
Carta Xbar	Gráfico de Médias
CEP	Controle Estatístico de Processos
DMAIC	<i>Define, Measure, Analyse, Improve, Control</i>
DPMO	Defeitos por Milhão de Oportunidades
DPO	Defeitos por Oportunidade
DPU	Defeitos por Unidade
FMEA	<i>Failure Mode Effects Analysis</i>
ICA's	Ações de Contenção Internas
JUSE	<i>Union of Japanese Scientist and Engineers</i>
LIC	Limite Inferior de controle
LSC	Limite superior de controle
MUDA	Desperdício
MURA	Inconstância
MURI	Sobrecarga
<i>np</i>	Gráfico da Proporção Defeituosa
NPR	Número de Prioridade de Risco
OETD	Troca de Ferramentas em um Único Toque
<i>p</i>	Gráfico de Unidades Defeituosas

PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i>
PDSA	<i>Plan, Do, Study, Act</i>
ppm	Partes por Milhão
QC Story	Histórico do Controle de Qualidade
QFD	Desdobramento da Função Qualidade
RETAD	<i>Rapid Exchange of tools and Dies</i>
STP	Sistema Toyota de Produção
TQC	<i>Total Quality Control</i>
VOC	Voz do Cliente

RESUMO

Os requisitos da qualidade dos produtos que entram em concorrência no mercado mundial são cada vez mais rigorosos. Por tal motivo, as indústrias de manufatura devem investir e concentrar os seus esforços nas tarefas de Melhoria Contínua. Isso inclui uma mudança na cultura empresarial das pessoas que fazem parte da organização; tal mudança depende da iniciativa da gerência para realizar um *benchmarking* interno e/ou externo, analisar o nível de desempenho da sua operação com relação aos concorrentes e adotar melhores práticas de manufatura. Empresas classe mundial atingiram a estabilidade básica dos seus sistemas produtivos, para logo concentrar os seus esforços nas filosofias de melhoria contínua que devem ser adequadas à sua realidade e entorno. Uma dessas filosofias é o Seis Sigma. Essa vem sendo utilizada para medir o nível da qualidade do resultado das operações das empresas através de métricas como nível de defeitos e variabilidade dos processos. Justamente o nível Seis Sigma é um padrão de comparação universal que mede a quantidade de defeitos por milhão de oportunidades e ao mesmo tempo mede quanto o processo se afasta da média. Atingir o nível Seis Sigma de desempenho sugere eliminação de anomalias dos sistemas produtivos. Para tal, esta metodologia propõe o ciclo DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve, Control*) de Melhoria Contínua. Diante desse panorama este trabalho propõe um modelo de referência para eliminação de anomalias nos processos de manufatura. Esse modelo é baseado no ciclo DMAIC e fortemente apoiado nas tarefas da rotina do dia-a-dia utilizadas para estabilizar o sistema produtivo, medindo o desempenho da operação através das métricas do Seis Sigma como fonte de oportunidades de melhoria. O modelo é estabelecido e aplicado através de um estudo de caso em uma empresa de manufatura, obtendo como resultado principal a redução dos defeitos nos produtos finais, e um incremento no rendimento interno final.

Palavras-Chave: Prevenção e eliminação de anomalias, Seis Sigma, Ciclo DMAIC, Melhoria Contínua, Variabilidade dos processos.

ABSTRACT

The quality requirements of the products that enter in competition in the world market are more and more rigorous. For such a reason, the manufacture industries should concentrate their efforts in the tasks of Continuous Improvement. That includes a change in the business culture of the people who are part of the organization; that change depends on the initiative of the management to accomplish an external benchmarking, to analyze the performance level of its operation regarding the contestants and to adopt better practices of manufacture. World-class companies reached the basic stability of their productive systems, for soon to concentrate their efforts in the philosophies of continuous improvement that should be suitable to their work reality. One of those philosophies is Six Sigma, it has been used to measure the level of the companies operations quality result through metrics, as level of defects and processes variability. Exactly the level Six Sigma is a universal standard comparison that measures the amount of defects per millions of opportunities and at the same time it measures the way as the process stands back of the average. To reach the Six Sigma performance level, it's necessary eliminated anomalies of the productive systems. For such, this methodology proposes the DMAIC cycle (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) of Continuous Improvement. In this panorama, this paper proposes a reference model for elimination of anomalies in the manufacture processes. The model is based on the DMAIC cycle and strongly based on the routine tasks of the day by day used to stabilize the productive system, measuring the operation performance through Six Sigma metrics as source of improvement opportunities.

Keywords: Prevention and elimination of anomalies, Six Sigma, DMAIC cycle, Continuous Improvement, Processes Variability.

Empresas classe mundial como a *Ford*, a *DaimlerChrysler* a *Toyota*, a *Motorola*, a *GE*¹, possuem cada uma o seu procedimento de eliminação de anomalias, alguns baseados no TQC (*Total Quality Control*), outros no Seis Sigma, ou simplesmente utilizando porções de alguma das duas metodologias, mas sempre adequando os procedimentos à filosofia da empresa. Campos (1992 b), posiciona a eliminação de anomalias no escopo da manutenção da qualidade e na melhoria da qualidade, isto significa que a eliminação de anomalias é uma parte integrante do gerenciamento da qualidade e do esforço da melhoria contínua.

*“A maior parte do trabalho de um gerente é resolver problemas”. (Douglas McGregor)*².

A citação do parágrafo anterior revela como a melhoria é contínua, é um ciclo, e que sempre existe alguma forma mais eficiente de fazer as coisas; portanto, sendo uma tarefa relevante para a gerência deve existir um procedimento adequado para encarar os problemas uma vez que eles acontecem.

1.1 Panorama da Melhoria Contínua Através da Eliminação de Anomalias

Uma fração importante das anomalias que aparecem durante a operação dos processos, consome tempo e dinheiro em quantidades consideráveis para serem resolvidas, e nem sempre a solução resulta ser a mais adequada, nem a anomalia é eliminada definitivamente. Grupos *Kaizen*³ de processo, guiados pelo amplo conhecimento do mesmo, implementam algumas soluções até chegar na que melhor se adapte às necessidades e características do funcionamento rotineiro da operação. Se tais soluções não atingirem as expectativas, uma outra deve ser implementada e o tempo, o dinheiro e o esforço gasto nas anteriores serviria só como aprendizado e experiência, e os recursos utilizados transformam-se em desperdício.

Em geral o contexto no qual se posiciona este trabalho é o melhoramento contínuo do qual faz parte a detecção, análise e eliminação de anomalias no sistema produtivo. Nesse cenário, a rotina do trabalho

¹ GE: *General Electric Co*

² Tomada de SHINGO, 1996.

³ *Kaizen*: Palavra japonesa que significa Melhoramento Contínuo

do dia-a-dia, isto é, como os procedimentos são feitos repetida e cotidianamente, relaciona-se fortemente com os procedimentos de melhoria contínua por ser a base fundamental para o normal funcionamento das operações. O segredo do sucesso de empresas como a Toyota, encontra-se justamente nos esforços pela padronização e documentação dos procedimentos, assim como a eliminação de desperdício e detecção de anomalias.

1.2 Melhoramento Contínuo das Operações do Sistema Produtivo

Lembrando que o contexto geral da dissertação é o melhoramento contínuo, esta seção apresenta os tópicos mais relevantes sobre a matéria, com o intuito de criar a base do entendimento do modelo proposto em capítulos seguintes.

O modelo completo de melhoramento contínuo foi descrito por Slack *et al*, (2002) e aparece ilustrado na Figura 1-1. O modelo abrange as técnicas de melhoria, o TQC (*Total Quality Control*) e a prevenção e recuperação de falhas com o alvo na melhoria da produção.

Algumas das definições de melhoria contínua que auxiliam no posicionamento do contexto no trabalho são resumidas a seguir.

A melhoria contínua é uma atividade recorrente para aumentar a capacidade de atender requisitos estabelecendo objetivos e identificando oportunidades para melhoria de um sistema de gestão da qualidade incrementando a probabilidade de melhorar a satisfação dos clientes e outras partes interessadas. ABNT (2000).

Existem duas abordagens de melhoramento, em primeira instância o melhoramento revolucionário, ou baseado em inovação, que presume que o principal veículo para o melhoramento é uma mudança grande e dramática da forma como a operação trabalha. O impacto desses melhoramentos é relativamente repentino, abrupto e representa um degrau de mudança na prática e por consequência no desempenho. Em segundo lugar, o melhoramento contínuo, que adota uma abordagem de melhoramento de desempenho que presume mais e menores passos de melhoramento incremental (SLACK *et al*, 2002).

CAPÍTULO 1

“O verdadeiro problema é pensar que não há problemas” (SHINGO, 1996).

1 INTRODUÇÃO: ELIMINAÇÃO DE ANOMALIAS NO CONTEXTO DO MELHORAMENTO CONTÍNUO

Parece que os dois termos são completamente antônimos, porque se existe melhoramento contínuo, o primeiro pensamento que chega é a perfeição, e poderia se pensar que não há problemas para resolver e, portanto que as operações funcionam dentro dos parâmetros normais e esperados. Como citado por Shingo (1996, b) e colocado no começo do capítulo, o pior problema é pensar que não há problemas. Nesta seção introdutória é feito o primeiro contato com o conceito de melhoramento contínuo, e a relação que existe entre este e a eliminação de anomalias.

A primeira aproximação é aclarar que melhoria contínua não é solucionar problemas, ainda assim, procurar aquilo que está sendo fonte de erro dentro do processo significa achar oportunidades de melhoria. Assim, prevenir que anomalias apareçam ou que aquelas que já aconteceram e foram corrigidas voltem a aparecer, faz parte das tarefas de melhoria contínua. Ao redor da matéria foram elaborados e estudados alguns procedimentos para solucionar anomalias nos processos de manufatura, alguns provenientes de teorias pré-estabelecidas e outros, produto da experiência das empresas que atingiram o sucesso através deles. Isto não significa que seja a única área importante dentro da empresa, mas é fundamental para garantir que o comportamento do sistema produtivo produza menos erros, agregue mais valor com menos desperdício e satisfaça os requisitos dos seus clientes.

Cada empresa de acordo com sua experiência, filosofia, cultura e necessidades adapta seus próprios métodos, sejam estes formais ou informais.

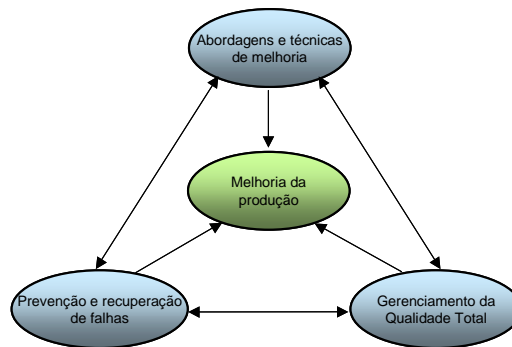


Figura 1-1 Modelo de Melhoria da Produção.

Fonte: Slack *et al*, (2002, p. 589)

O melhoramento contínuo, também é conhecido como *Kaizen*, e significa melhoramentos contínuos que envolvem todas as pessoas da organização. O L \acute{e} xico *Lean* (2003) define *Kaizen* como melhoria cont  ua de um fluxo completo de valor ou de um processo individual, a fim de agregar mais valor com menos desperdício.

Há dois níveis de *Kaizen*: *Kaizen* de sistema ou de fluxo, que tem foco no fluxo total de valor e está dirigido ao gerenciamento e o *Kaizen* de processo, que enfoca em opera  es individuais e está dirigido a equipes de trabalho e líderes de equipe (ROTHER *et al*, 2003). Para efeitos desta disserta  o, o foco principal estará no *Kaizen* de processo, sem desconsiderar o *Kaizen* de fluxo.

Baseado nos conceitos de indeterminismo Pfeifer *et al* (2002), define *Kaizen* como uma filosofia da varia  o eterna e da flexibilidade para reagir perante as modifica  es do meio. Mesmo quando um sistema produtivo    projetado e suas opera  es planejadas e controladas, e sem importar quão bem gerenciado seja, sempre pode ser melhorado.    desta idéia que o termo melhoramento contínuo desprende-se; já que    uma tarefa cíclica, isto   , que não tem ponto final.

Justamente por ser cíclica, a tarefa de melhoramento contínuo sempre foi representada através de figuras ou diagramas que transmitem a idéia de continuidade. A Figura 1-2 apresenta o ciclo de melhoria contínuo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*), ou também conhecido como roda de Deming, que foi o introdutor do conceito no Japão nos anos 50.

PDCA é o ciclo de melhoria baseado no método científico de se propor uma mudança em um processo, implementar essa mudança, analisar os resultados e tomar as providências cabíveis. (LÉXICO LEAN, 2003).

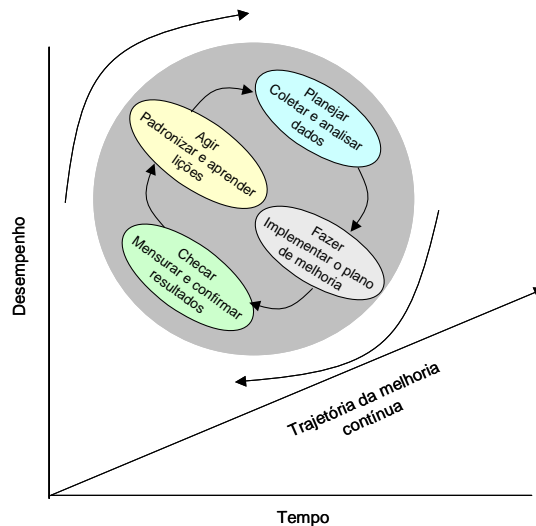


Figura 1-2 Ciclo de Melhoria Contínua PDCA.

Fonte: Slack *et al*, (2002, p. 606).

O ciclo PDCA tem quatro fases: planejar (*Plan*), que é determinar os objetivos para um processo e as mudanças necessárias para alcançá-los; fazer (*Do*), que consiste em implementar as mudanças; verificar (*Check*), que significa avaliar os resultados em termos de desempenho e agir (*Act*), que é padronizar e estabilizar a mudança ou recomeçar o ciclo. Slack *et al*, (2002), colocou na sua representação a trajetória da melhoria contínua em forma ascendente, o que introduz a idéia de esforço para movimentar a roda nessa trajetória e conseguir um nível mais alto no desempenho da operação através do tempo, pois um ciclo de melhoria representa mais esforço em prol da obtenção de melhores resultados.

Esse esforço pelo melhoramento contínuo das operações induz a idéia de alcançar a perfeição no desempenho. Womack *et al*, (2004), justamente coloca como um dos princípios da mentalidade enxuta⁴ a perfeição, definida pelo Léxico *Lean* (2003) como um processo que fornece puro valor, conforme definido pelo cliente, sem qualquer tipo de desperdício. A perfeição pode ser atingida depois de ter aplicado os princípios *Lean*, no entanto, benefícios ou retornos maiores são

⁴ Mentalidade Enxuta: *Lean Thinking*, princípios da manufatura enxuta como filosofia.

alcançados periodicamente através do *Kaizen*, ou melhoramento contínuo. Vale fazer a salvedade que perfeição é um não-válido no âmbito da metrologia, já que o erro é inerente a qualquer sistema de medição.

Diante desse panorama, é possível concluir que a eliminação de anomalias é uma função relevante da melhoria contínua, mas não é o núcleo.

O título desta seção fala em sistemas produtivos. A palavra sistema dá uma idéia de algo vivo, que se movimenta, e é flutuante. O dicionário da APICS⁵ define sistema assim:

Um sistema é um conjunto de elementos entre os quais existe algum tipo de relação e que estão dispostos de tal maneira que formam uma estrutura organizada. Sistema é definido como uma interação regular de um grupo interdependente de itens que formam um todo unificado propício para alcançar um objetivo (BLACKSTONE e COX , 2005, p. 114).

Nessa ordem de idéias, o sistema produtivo pode ser definido como um conjunto de elementos de entrada (*inputs*) que podem ser: pessoas, máquinas, materiais, informações, procedimentos, etc, que entram no modelo de transformação para serem convertidos em saídas (*outputs*) que são os produtos e serviços. A Figura 1-3 mostra o modelo de transformação apresentado por Slack *et al*, (2002) com as entradas e saídas no processo de transformação.

O processo de transformação que aparece na Figura 1-3, se compõe de processos e operações, embora sejam termos usualmente utilizados como sendo sinônimos, são conceitos diferentes. Então, em linguagem simples, **processo**: é a transformação de matéria-prima em produto acabado, visualizado como o fluxo de materiais no tempo e no espaço; Slack *et al*, (2002) divide esses recursos de entrada em recursos transformados que são aqueles que são tratados, transformados ou convertidos de alguma forma, e os recursos de transformação que são aqueles que agem sobre os recursos transformados.

⁵ APICS: *American Production and Inventory Control Society*

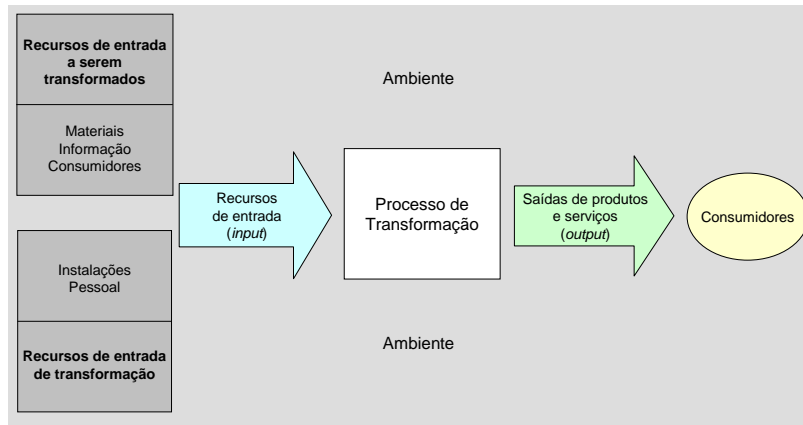


Figura 1-3 Modelo de Sistema Produtivo.

Fonte: Slack *et al*, (2002, p. 36).

Uma **operação** pode ser visualizada como o trabalho realizado para efetivar essa transformação, ou como a interação do fluxo de equipamento e operadores no tempo e no espaço (SHINGO, 1996 b). O dicionário da APICS define operação da seguinte maneira:

Operação é uma tarefa que envolve a transformação de um elemento em suas características físicas ou químicas, montagem ou desmontagem de objetos, preparação de um elemento para outra operação (BLACKSTONE e COX , 2005, p. 76).

A definição anterior ajusta-se concretamente às operações próprias da fabricação, mas Shingo (1996 a), estabelece que as operações do sistema produtivo são: transporte, inspeção, estocagem, planejamento, projeto, etc. Algumas delas como por exemplo a inspeção, não são operações transformadoras nem agregadoras de valor, mas são operações que fazem parte do sistema produtivo. Estas operações são alvo de estudo neste trabalho pois é ali onde tudo acontece, inclusive as anomalias.

1.3 Introdução à Estratégia Seis Sigma

Esta dissertação estuda os métodos existentes para eliminação de anomalias, e faz ênfase no método próprio da estratégia Seis Sigma, pelas vantagens que serão apresentadas com detalhe no capítulo seguinte. Como uma breve introdução, o ciclo DMAIC do inglês (*Define, Measure,*

Analyse, Improve, Control), ou ciclo de melhoria contínua da estratégia Seis Sigma como é conhecido, é um procedimento também baseado no ciclo PDCA original, que não foge do método científico e que abrange tanto melhoria nos processos produtivos quanto melhoria na fase de projeto e reprojetado de produto.

Este ciclo também é apresentado por alguns autores como um método de eliminação de anomalias, e foi por esse, entre outros motivos escolhido como alvo desta dissertação. A Figura 1-4 representa o ciclo DMAIC de melhoria contínua da filosofia Seis Sigma e descreve o significado de cada uma das siglas do nome, vale aclarar que o nome original vem do inglês, por tal motivo o “I” em inglês é *Improve* e no português corresponde a melhoria.

No que diz respeito à metodologia Seis Sigma, Garrido (2005) introduz o conceito como sendo um nível otimizado de performance que se aproxima de zero defeito no processo da confecção de um produto ou serviço.

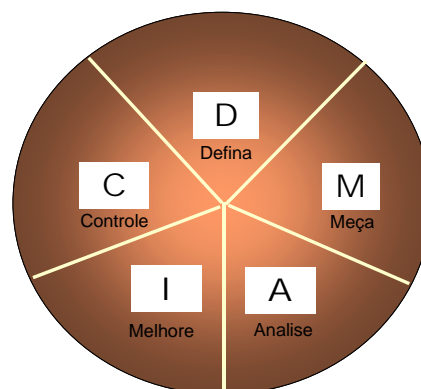


Figura 1-4 Ciclo DMAIC de Melhoria Seis Sigma.

Fonte: Adaptada de Pande *et al*, (2004, p. 40).

O conceito Seis Sigma agrupa vários conceitos do gerenciamento por processos, simulação, controle estatístico de processo, manufatura enxuta, *benchmarking* e o *Design of Experiments* (DOE). Garrido (2005) relata algumas histórias de sucesso de implementação do ciclo de melhoria DMAIC, um desses casos de sucesso foi relatado pela empresa Polibrasil, para a qual não foi difícil a implementação, mas cujo principal obstáculo foi mudança de cultura e a modificação da forma de trabalho da empresa. Miyoshi (2003) é mais abrangente na aplicação da estratégia como um desafio não só para uma única empresa, mas sim para toda a cadeia que

envolve o padrão de empresas “classe mundial”, para estabelecer níveis de perfeição em todas as atividades que procurem garantir competitividade e o sucesso conjunto de todos os componentes. Isto está diretamente relacionado com os princípios da manufatura enxuta, já que envolvendo toda a cadeia de suprimentos na busca pela perfeição, é possível criar e manter uma continuidade no fluxo e a padronização das operações.

Os métodos de eliminação de anomalias geralmente estão baseados no método científico, apoiados em fatos, e análise de dados através de ferramentas estatísticas, porém, a complexidade de tais ferramentas tem sido alvo de discussão de vários autores, principalmente aqueles praticantes da filosofia *Lean Manufacturing*.

Nesse contexto, surgiram novos conceitos de autores que têm relacionado diretamente o pensamento *Lean* com as práticas Seis Sigma, a questão é o fato da metodologia Seis Sigma se enquadrar ou não dentro das práticas *Lean*. Udoka (2003) ousou combinar os dois termos (*Lean-Six Sigma*), e colocar a cada um deles uma função; segundo ele, o *Lean* lida com a eliminação do desperdício, já que encara a redução da variação. Breyfogle *et al*, (2001) afirma que Seis Sigma é pré-requisito para a implementação dos princípios da manufatura enxuta, já que o Seis Sigma se encarrega da redução dos defeitos o que é uma parte do caminho a percorrer no *Lean*.

No escopo do funcionamento e os segredos de sucesso da Toyota, Liker (2004) tenta responder ao questionamento de muitos autores, que é o fato da Toyota não ter implementado ainda a metodologia Seis Sigma. Ele afirma que a Toyota, embora não tenha implementado formalmente a metodologia, não tenha investido na formação e certificação de *Black Belts*⁶, e nem sendo rigorosa nas práticas próprias da mesma, investe todo seu esforço na filosofia zero defeitos e a padronização das operações, que é em última instância a meta do Seis Sigma. Liker também alega que as ferramentas estatísticas utilizadas na metodologia Seis Sigma não são de fácil compreensão por todos dentro da empresa.

⁶ *Black Belts*: Faixas Pretas, ou especialistas com certificação na metodologia Seis Sigma, este é o nível mais alto da hierarquia, seguido pelos *Green Belts*.

Diante do escopo da filosofia *Lean*, toda empresa deve escolher aquelas ferramentas estatísticas que lhe sejam adequadas à sua própria realidade, já que elas fazem parte importante da medição do desempenho da operação (BREYFOGLE *et al*, 2001).

Por outra parte, Fritz (2005) coloca que o sucesso não depende do Seis Sigma por si só, e contrário a Breyfogle, diz que o desperdício tem que ser eliminado antes de aplicar qualquer iniciativa Seis Sigma.

A postura de Fritz (2005) é interessante, já que consegue expor o que há por trás do funcionamento normal da operação que é a base para qualquer empreendimento de melhoria contínua. Na Figura 1-5 aparece a escada do sucesso proposta pela Fundação Europeia de Gerenciamento da Qualidade (EFQM)⁷ e cujos níveis demarcados são requisito para a obtenção do Prêmio Nacional da Qualidade Malcom Baldrige.

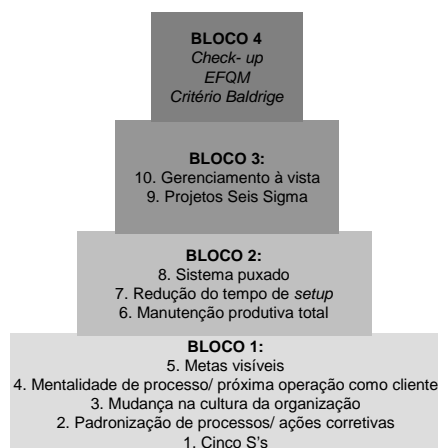


Figura 1-5 Escada do Sucesso.

Fonte: Adaptada de Fritz (2005).

O modelo está composto de quatro blocos, sendo o primeiro baseado na gestão à vista, o segundo baseado no pensamento *Lean*, o terceiro no Seis Sigma e o quarto no critério de concessão do

⁷ **EFQM:** *European Foundation for Quality Management*

prêmio propriamente dito. Em qualquer um dos casos, a tarefa de eliminar anomalias é um dos requisitos.

Nesta seção introdutória está sendo colocada a parte conceitual de algumas palavras-chave que ao longo do trabalho se repetem, e uma delas é anomalia. Para Campos (1996 a) anomalia é qualquer desvio das condições normais de operação. Uma anomalia é uma não-conformidade, é tudo o que é diferente do usual ou normal. Anomalias para efeitos do trabalho é um termo abrangente que se estende desde as falhas e erros até os defeitos no produto final. Por exemplo, uma anomalia pode ser uma quebra de equipamento, qualquer tipo de manutenção corretiva, defeitos em produto, refugos, retrabalhos, insumos fora da especificação, reclamações de clientes, vazamentos de qualquer natureza, paradas de produção por qualquer motivo, em outras palavras, são todos os eventos que fogem do funcionamento normal das operações do processo produtivo.

Para um melhor esclarecimento são definidos cada um dos termos inseridos no contexto de anomalia. Um termo muito utilizado na literatura é falha. Montgomery (1997) define falha como sendo sinônimo de não-conformidade. Falha é um resultado errado. As falhas na produção ocorrem por razões muito diferentes como: aquelas que têm sua fonte dentro da operação produtiva, porque seu projeto global foi mal feito ou porque as instalações (máquinas, equipamentos e edifícios) ou pessoal falharam; aquelas que são causadas por falhas no material ou informações fornecidas à operação produtiva; e aquelas causadas por ações dos clientes (SLACK *et al*, 2002).

Outro termo importante na ocorrência de anomalias é defeito, que segundo a ABNT (2000) é, o não atendimento a um requisito relacionado a um uso pretendido ou especificado. Já para a APICS (2005) é o funcionamento incorreto de um produto ou serviço com respeito às especificações técnicas ou expectativas do cliente incluindo considerações de segurança. Para Liker (2004), um defeito é uma não-conformidade percebida pelo cliente, seja este interno ou externo. Perez-Wilson (2000) mistura os termos, e define defeito como uma não-conformidade ou falha em satisfazer as exigências qualitativas impostas a uma unidade, por tanto um defeituoso é uma unidade de produto contendo pelo menos uma não-conformidade.

Erro também é empregado no tema de eliminação de anomalias, e refere-se a ações não corretas relativas à mão-de-obra. E finalmente, problema que é um outro termo mais abrangente, é o resultado indesejável de um trabalho, CAMPOS (1994).

Sintetizando, no contexto do modelo proposto nesta dissertação, e remetendo-se o à Figura 1-6, problema é um termo amplo que envolve falhas e erros. As falhas estão relacionadas com os equipamentos, máquinas e ferramentas; erro está relacionado com as ações erráticas do homem; defeito (percebido pelo cliente) refere-se aquelas deficiências funcionais ou operacionais do produto; uma não-conformidade é um não-atendimento às especificações técnicas do produto que chega ao cliente interno ou externo e finalmente anomalia é o termo mais amplo que abrange todos os anteriores e que encontra-se no mesmo nível de problema. Nesse escopo, investindo esforços na detecção, prevenção e eliminação de anomalias, está sendo eliminada uma boa parte do desperdício relacionada à não-qualidade seja qual for a sua fonte.

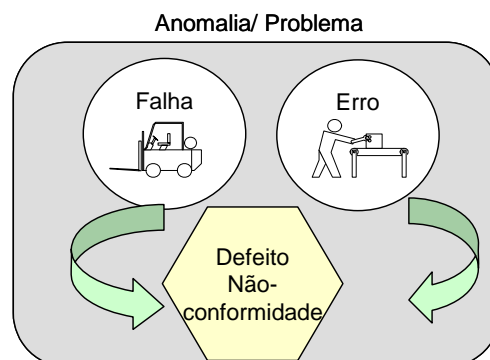


Figura 1-6 Definição do Conceito Anomalia.

1.4 Objetivos da Dissertação

Depois do contexto apresentado na seção anterior e após ter definido os termos básicos que fazem parte do escopo do trabalho, só resta descrever os objetivos do mesmo.

O objetivo geral do trabalho é, elaborar um modelo de referência para detecção, eliminação e prevenção de eventuais anomalias nos processos técnicos de manufatura, baseado na Metodologia Seis Sigma e apoiado nas práticas básicas da rotina do dia-a-dia.

Um dos objetivos específicos é conciliar as práticas da rotina do dia-a-dia com a Metodologia Seis Sigma através do modelo, para fortalecer a tarefa de eliminação de anomalias ou solução de problemas, dos grupos de melhoria das empresas de manufatura, com o intuito de não isolar o ciclo DMAIC, das práticas básicas de eliminação de desperdício e padronização, que por sua vez oferecem uma contribuição importante na redução de defeitos e no funcionamento normal das operações.

Através de um estudo de caso aplicado em uma empresa manufatureira da região, é observado e avaliado o comportamento do modelo, discutidos os resultados obtidos e sugeridos os ajustes necessários. Para tal efeito, o modelo de referência inclui um manual de procedimento detalhado, dirigido às equipes *Kaizen* de empresas de manufatura, assim como um *software* para agilizar os resultados, a implementação e documentação.

As principais contribuições desta dissertação são: o modelo de referência, o manual de procedimentos, o *software* e as capacitações dadas aos membros da equipe *Kaizen* da empresa que fez possível o desenvolvimento do estudo de caso.

Assim, no capítulo seguinte é apresentado um estudo completo, porém sucinto da Metodologia Seis Sigma e o seu ciclo de eliminação de anomalias.

1.5 Estrutura do Trabalho

Havendo posicionado o contexto geral e os objetivos do presente trabalho, pode-se entrar diretamente na proposta do mesmo. O modelo de referência proposto nesta dissertação faz um *zoom* na fase de eliminação de anomalias, e aplica a Metodologia Seis Sigma para solução de problemas denominada DMAIC do inglês (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*). Esta metodologia é uma abordagem compacta, prática e funcional que se adequa às necessidades das empresas de manufatura. O DMAIC foi escolhido para aplicação no estudo de caso por ser um dos módulos da Estratégia Seis Sigma, que estabelece objetivos claros tanto nos resultados como no tempo, no que diz respeito da satisfação do cliente, redução da variabilidade dos processos, e conseqüentemente dos defeitos, além de contar com ferramentas poderosas para prevenção e detecção de anomalias.

O modelo também estuda aquilo que rodeia o funcionamento normal da operação, isto é, como as operações cotidianas são desenvolvidas e como é medido o desempenho das mesmas.

Resumindo, esta dissertação tem como proposta um modelo para detectar, eliminar e prevenir anomalias (problemas) nos processos produtivos em empresas manufatureiras, atacando as causas fundamentais, e cujo resultado seja a redução de defeitos.

A estrutura do documento está composta de cinco capítulos, neste primeiro capítulo, é feita uma introdução ao contexto do trabalho, os objetivos do trabalho assim como uma revisão dos conceitos que serão abordados ao longo do desenvolvimento dos capítulos restantes.

No capítulo seguinte aparece uma revisão mais profunda da metodologia Seis Sigma, concentrando-se no ciclo de melhoria contínua DMAIC que é o fundamento do modelo proposto no trabalho. É feito também um contraste entre a estratégia Seis Sigma e outras propostas de melhoria contínua enfatizando nas vantagens da estratégia escolhida frente a outras.

O terceiro capítulo descreve detalhadamente o modelo que será utilizado como referência para eliminação de anomalias em empresas de manufatura, incluindo as ferramentas empregadas em cada módulo e a relação existente entre os módulos e os objetivos a serem alcançados.

O capítulo quatro é a aplicação do modelo através do estudo de caso desenvolvido em uma empresa localizada no distrito industrial da Palhoça, Estado de Santa Catarina.

Por fim, o capítulo cinco contém as considerações finais, onde é condensado o resultado obtido na aplicação, uma avaliação do comportamento do modelo destacando os pontos fortes e pontos fracos terminando com algumas sugestões para trabalhos futuros.

CAPITULO 2

2 ESTRATÉGIA SEIS SIGMA PARA ELIMINAÇÃO DE ANOMALIAS

Este capítulo se concentra na Estratégia Seis Sigma, nos conceitos fundamentais, na proposta para eliminação de anomalias através do ciclo de melhoria DMAIC das siglas (*Define, Measure, Analyse, Improve, Control*). Para começar, pode-se dizer que tudo aquilo que precisa ser melhorado tanto no processo de manufatura como na fase de projeto é conhecido na linguagem Seis Sigma como projeto e significa o conjunto de ações estruturadas para produzir uma melhoria.

Tais projetos se dão em três níveis de objetivos, como mostrado na Tabela 2-1. O ciclo de melhoria atinge objetivos através de mudanças que ocorrem a longo prazo e são radicais, em mudanças de médio ou curto prazo que representam melhoria em algum elemento do sistema produtivo. O escopo desta dissertação é a solução de anomalias, ou seja, a última linha da tabela, onde os projetos são contínuos, não radicais, e podem ser desenvolvidos no curto e no médio prazo.

Tabela 2-1 Níveis de Objetivos do Seis Sigma.

Objetivo	Descrição
Transformação do negócio	Uma mudança importante em como a organização funciona; ou seja, "mudança de cultura".
Melhoria estratégica	Objetiva fraquezas ou oportunidades estratégicas fundamentais.
Solução de anomalias	Determina áreas específicas de altos custos, retrabalho, atrasos e problemas com equipamentos e processos.

Fonte: Adaptada Pande *et al*, (2004).

Já que o escopo do modelo foi estabelecido, vale a pena remontar-se à história da Metodologia Seis Sigma. Segundo Barney (2002), o conceito Seis Sigma foi introduzido pelo engenheiro e

cientista Bill Smith que pertencia à divisão de comunicações da Motorola, em 1986. Já Harry (1994) estabelece a origem do conceito em 1984. Smith desenvolveu a estratégia para resolver o crescente número de reclamações relativas a defeitos no produto dentro do período da garantia. O método padronizou a forma de contagem dos defeitos e também definiu um alvo, onde a empresa se posicionaria em um nível próximo da perfeição o que foi denominado Seis Sigma.

Inúmeros autores incluem nas suas obras as histórias de sucesso da Motorola e da GE⁸, um deles, Siqueira (2005) diz que a estratégia ajudou à Motorola no alinhamento dos processos às necessidades do cliente, na mensuração e aprimoramento do desempenho dos processos críticos e na documentação deles, levando-a a triplicar a produtividade e obter economias da ordem de US\$ 11 bilhões até o ano de 1997⁹.

Depois de lançado o conceito, a metodologia ganhou importantes contribuições de empresas como *IBM, Xerox, Texas Instruments, AlliedSignal (Honeywell)* e a *GE* onde o processo de melhoria DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) foi padronizado como o principal método de aprimoramento, para atingir a qualidade Seis Sigma, através da solução dos problemas críticos.

2.1 Conceito Seis Sigma

Seis Sigma vem sendo utilizado para medir o nível de qualidade das empresas de manufatura e de serviços, e de maneira similar aos índices de capacidade de processo conhecidos como C_p e o C_{pk} ¹⁰, o nível Seis Sigma permite identificar a capacidade do processo no que diz respeito do nível de unidades defeituosas e da variabilidade. O Seis Sigma não opera por si só, o sistema produtivo deve alcançar uma estabilidade básica através da padronização e eliminação de desperdício e de defeitos, o que envolve o estudo das operações da rotina do dia-a-dia.

⁸ GE: *General Electric Co*

⁹ Dado obtido de Siqueira, Seis Sigma Presente e Futuro, 2005

¹⁰ C_p e C_{pk} : índices próprios do Controle Estatístico de Processos que medem a capacidade de um processo produtivo com base nos limites superior e inferior de especificação e o desvio padrão respectivamente.

Utilizando as palavras de Werkema (2001), grande parte das empresas ainda têm muito para resolver antes de atingir o nível Seis Sigma, e a primeira tarefa é um bom programa de gerenciamento da rotina, capaz de medir eficientemente todos os seus indicadores. Blauth (2003), diz que a estratégia Seis Sigma é uma extensão dos conceitos do TQC (*Total Quality Control*) com foco na melhoria contínua dos processos, iniciando por aqueles que atingem diretamente o cliente. Segundo Pande (2001) Seis Sigma pode ser definido como uma medida do desempenho de um processo ou um produto; também como um objetivo de chegar próximo da perfeição do melhoramento do desempenho, e finalmente como um sistema de gerenciamento para alcançar uma liderança estável nos negócios e um desempenho classe mundial.

Seis Sigma é um nível otimizado de performance que se aproxima a zero defeito em um processo de fabricação de um produto ou serviço. Ele indica a obtenção e a manutenção de uma performance de alto nível. Em contraste com outros autores, Perez-Wilson (2000) afirma que Seis Sigma não é uma metodologia, mas sim um fim, um objetivo, e não deve ser entendida como um meio.

Seis Sigma é visto como um alvo ou objetivo de variabilidade similar a zero defeito e também como uma estratégia para reduzir tal variabilidade similar a melhoria contínua.

A Motorola definiu o Seis Sigma como mais ou menos seis desvios padrão dentro dos limites de controle, Figura 2-1. Em outras palavras, dada uma característica particular de um produto que possui uma especificação de projeto, significa que tem um limite de controle superior (LSC), e um limite de controle inferior (LIC), sendo estes dois limites a demarcação da tolerância do projeto. A Motorola defendeu que a tolerância do projeto deveria ser tal que esta permitisse ajustar 12 sigmas ($\pm 6\sigma$), ou duas vezes a variação do processo. Esta havia sido anteriormente definida como ($\pm 3\sigma$) ou seis multiplicado pelo valor do sigma. A idéia da Motorola era a de tomar determinado produto, medir suas características de interesse e estimar seu nível sigma, então o valor do sigma deveria ser tal que 12 deles se ajustariam dentro dos limites de controle, especificação ou tolerância.

Estatisticamente o Seis Sigma, baseia-se no conceito do desvio padrão, que descreve quanta variação existe em um conjunto de dados, um conjunto de itens ou um processo e justamente a metodologia procura otimizar os processos através da redução de variabilidade.

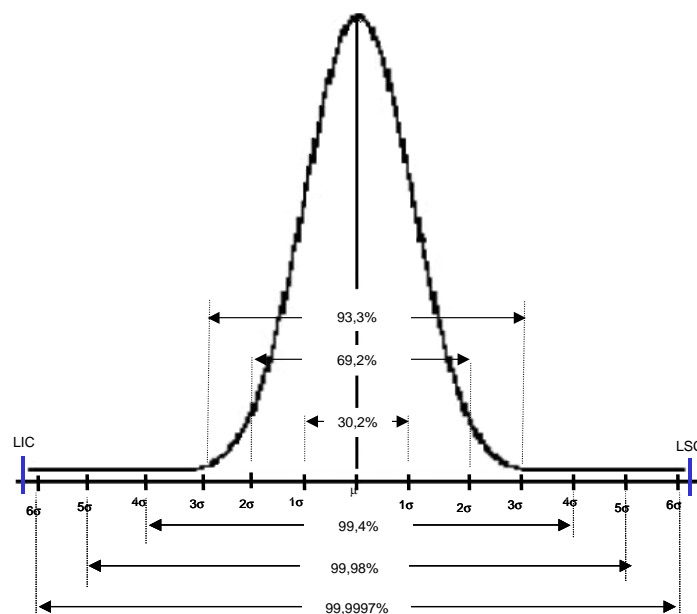


Figura 2-1 Conceito Seis Sigma e Rendimento.

O conceito estatístico de Seis Sigma, como descrito por Breyfogle (2001), está baseado em dois elementos, os limites de especificação e a curva de distribuição normal. Como mostrado na Figura 2-1, os limites de especificação são as tolerâncias, e a variação por sua propriedade de ubiquidade encontra-se espalhada embaixo da curva de distribuição normal.

Atualmente o mercado está deixando claro sua demanda através da seguinte mensagem “a necessidade do mercado é de produtos de alta qualidade e com baixo preço” e um número crescente de empresas em todo o mundo está aceitando este desafio, utilizando-se da metodologia Seis Sigma com a finalidade de melhorar a performance do negócio (LÜDKE, 2004).

A Tabela 2-2 mostra uma simplificação de conversão para nível sigma após obter o número de unidades defeituosas por milhão de oportunidades que é comumente conhecido como *ppm* (partes por milhão). Estes valores foram obtidos levando em conta o deslocamento de $1,5\sigma$ próprio da Motorola para fins práticos devido a que o nível 6σ sem tal deslocamento sugere 0.002 ppm . O

rendimento mede o percentual de peças conformes de um lote, e o nível sigma é convertido de acordo com o dado de defeituosos por milhão. No APÊNDICE I encontra-se a tabela completa de conversão.

Tabela 2-2 Tabela Simplificada de Conversão de ppm em Sigma.

Nível Sigma	Rendimento (%)	Defeituosos (ppm)
$\pm 1\sigma$	30,23	697700
$\pm 2\sigma$	69,13	308700
$\pm 3\sigma$	93,32	65810
$\pm 4\sigma$	99,3790	6210
$\pm 5\sigma$	99,97670	233
$\pm 6\sigma$	99,999660	3,4

Fonte: Breyfogle *et al*, (2001).

Na Tabela 2-3 é feita uma comparação do nível de desempenho 99% e 99,9997% a nível macro para dar uma idéia mais tangível do que significa atingir ou não o nível Seis Sigma. Um rendimento de 99% a simples vista parece ser um desempenho muito bom da operação, mas a diferença que existe entre o desempenho 99% e o desempenho 99,9997% do nível Seis Sigma, é muito grande quando medidos os defeitos a nível macro.

Tabela 2-3 99% de Qualidade Versus Desempenho Seis Sigma.

Base \ Meta	99%	Seis Sigma (99,9997%)
300.000 cartas entregues	3.000 entregas erradas	1 entrega errada
500.000 cliques em reiniciar o computador	4.100 falhas	Menos de 2 falhas
500 anos de fechamento do mês	60 meses não estariam no balanço	0,18 mês não estaria em balanço
Cada semana de transmissão de tv por canal	1,68 h de problemas de transmissão	1,8 s de problemas de transmissão.
Outras referências para 99%: 20.000 artigos perdidos por hora no correio 1 amostra de água não apta para beber quase cada 15 min por dia. 5.000 operações cirúrgicas com erro por semana. 200.000 prescrições erradas de medicamentos a cada ano 7 h por mês sem fornecimento de energia elétrica.		

Fonte: Adaptada de Harry (1994) e Pande (2005).

2.2 Estratégia de Eliminação de Anomalias (DMAIC)

Após ter estudado o conceito de Seis Sigma esta seção entra com detalhe na proposta de melhoria contínua da Metodologia Seis Sigma, que não difere do ciclo DMAIC.

A estratégia de eliminação de anomalias ou ciclo de melhoria Seis Sigma, baseia-se no ciclo original PDCA¹¹ estudado no capítulo anterior, e pode ser aplicado tanto nos esforços de melhoria de processos quanto aos de projeto e reprojeito.

O ciclo DMAIC¹² é um processo ou modelo comum que os membros das equipes de melhoria podem utilizar para facilitar o seu trabalho. É uma ferramenta flexível, mas muito poderosa para que as melhorias aconteçam e sejam fixadas. O ciclo está composto por cinco passos, a saber: definir, medir, analisar, melhorar e controlar. Cada um deles é tratado em seções seguintes descrevendo os objetivos e ferramentas utilizadas em cada etapa.





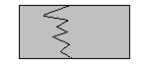
2.3 A Equipe DMAIC

Equipes de melhoria, solução de anomalias e planejamento de processos são os mais visíveis e ativos componentes da força do Seis Sigma, especialmente o primeiro. Essas equipes são formadas para resolver problemas organizacionais e transformá-los em oportunidades. Normalmente essas equipes são formadas por pessoas de diferentes departamentos, com conhecimentos diversos, e diferentes níveis, cujas contribuições penetram nos esforços do Seis Sigma. A Tabela 2-4 resume algumas das tarefas a desenvolver pela equipe em cada etapa do ciclo de melhoria.

¹¹ PDCA: Das sigas em inglês: (*Plan, Do, Check, Act*)

¹² DMAIC: Das siglas em inglês: (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*)

Tabela 2-4 Modelo DMAIC na Melhoria de Processo e Projeto.

Etapa	Melhoria de processo	Melhoria de projeto/reprojeto de processo
 1. Defina	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Identifique o problema ✓ Defina requisitos ✓ Estabeleça meta 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Identifique problemas específicos ou amplos ✓ Defina objetivo/ mude a visão ✓ Esclareça o escopo e as exigências do cliente
 2. Meça	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Valide problema/processo ✓ Redefina problema/objetivo ✓ Meça passos-chave/entradas 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Meça desempenho em relação às exigências ✓ Colete dados sobre eficiência do processo
 3. Analise	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Desenvolva hipóteses causais ✓ Identifique causas-raiz "poucas e vitais" ✓ Valide hipóteses 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Identifique melhores práticas ✓ Avalie projeto do processo ✓ Redefina exigências
 4. Melhore	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Desenvolva idéias para remover causas-raiz ✓ Teste soluções ✓ Padronize solução/meça resultados 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Projete novo processo ✓ Implemente novos processos
 5. Controle	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Estabeleça medidas padrão para manter desempenho ✓ Corrija problema quando necessário 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Estabeleça medidas e revisões para manter desempenho ✓ Corrija problema quando necessário

Fonte: Adaptada de Pande (2004, p. 41)

Embora alguns dos passos da Estratégia DMAIC coincidam com os passos seguidos por outros modelos propostos para eliminação de anomalias, a arquitetura DMAIC oferece certas vantagens perante outras com relação às tarefas da equipe. (PANDE, 2001, p. 30):

- a. **Medição do problema:** no DMAIC a equipe de melhoria não assume que entendeu qual é o problema, ela tem que demonstrar isso com fatos.
- b. **Foco no cliente:** o cliente é considerado importante incluso quando se pensa em reduzir custos nos processos.
- c. **Verifica a raiz das causas:** a causa fundamental tem que ser demonstrada com fatos e dados.
- d. **Quebra de paradigmas:** as mudanças verdadeiras nos processos são produto de soluções novas e criativas.
- e. **Gerenciar riscos:** testar e aperfeiçoar soluções é uma parte essencial da disciplina Seis Sigma, mas tudo dentro do senso comum da equipe.
- f. **Medir resultados:** Seis Sigma verifica o impacto das soluções baseado em fatos confiáveis.
- g. **Sustentando as mudanças:** até as melhores práticas desenvolvidas pelo DMAIC podem perecer se não forem realimentadas e suportadas, esta é a chave da estratégia.

Já no capítulo anterior se relacionou diretamente o processo de melhoria contínua com a redução da variabilidade dos processos. Na Figura 2-2 é ilustrado o ciclo de melhoria contínua em cada uma das etapas do processo produtivo. O ciclo deve ser entendido pela equipe de melhoria, e o objetivo a fixar deve ser chegar próximo do zero defeito. A última curva de distribuição normal que aparece na figura representa o zero defeito, na qual todas as saídas do processo encontram-se dentro dos limites de especificação, o que significa um processo sob controle, centrado e com variabilidade mínima.

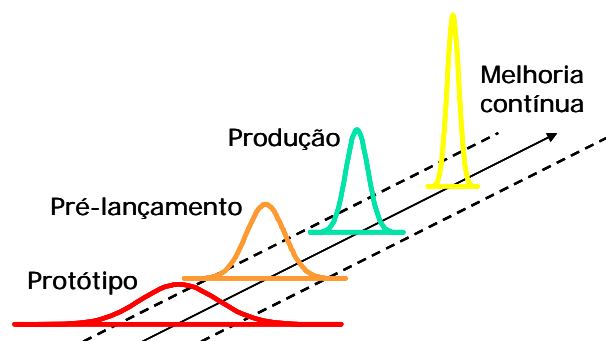


Figura 2-2 Resultados do Ciclo de Melhoria por Etapas.

Fonte: Donatelli. (2000)

2.4 O Ciclo DMAIC

A sequência lógica que desenvolve o ciclo DMAIC é apresentada a seguir, aclarando que ele não é uma atividade puramente linear, isto é, na medida em que a equipe se aventura na investigação, coleta dados, define o problema, etc, quase sempre faz descobertas a respeito de problemas e processos. Essas revelações podem significar que a meta pode ser revisada e aprofundada na etapa de análise.

2.4.1 Passo 1: Definir

O primeiro passo para enxergar a oportunidade de melhoria é definir o problema. A equipe de melhoria deve responder questões como: no que está trabalhando; por que está trabalhando em

cima deste problema particular; identificar quem é o cliente, quais são os requisitos do cliente; como a operação está funcionando; quais os benefícios de realizar este melhoramento.

Uma vez que essas perguntas possam ser respondidas, o procedimento é construir o *blueprinting*¹³ da carta de projeto¹⁴ DMAIC. A carta pode variar de acordo com as necessidades da empresa e o tipo de negócio, mas tipicamente inclui a oportunidade de melhoria que define a anomalia ou alvo da melhoria, as limitações que existem para o projeto, o escopo, a equipe envolvida e um plano preliminar das fases e atividades.

Nesta fase deve ser identificado o componente mais importante da operação: o cliente, que pode ser interno ou externo, e recomenda-se especial cuidado com o cliente externo que tem a última palavra sobre o faturamento, da empresa. Todo este esforço tem a ver com a Voz do Cliente (VOC), que é um desafio, já que muitas vezes o mesmo cliente não sabe o que espera do produto ou serviço, ou não consegue descrever na linguagem da empresa, assim o DMAIC tenta captar aquilo que o cliente sabe dizer com mais facilidade, e é aquilo que ele não quer.

A tarefa seguinte é realizar um diagrama de processo detalhando os passos mais importantes pelos quais a equipe deve passar. Havendo mapeado o processo, a equipe pode ir ao passo seguinte.

2.4.2 Passo 2: Medir

Medir é uma fase de transição essencial, que serve para confirmar ou refinar o problema e começar a busca da causa-raiz. É o procedimento lógico que faz a ponte entre a definição e análise. Como afirma Miyoshi (2003), o objetivo das medidas é captar e atuar sobre as causas.

Medir tem dois objetivos principais:

¹³ *Blueprinting*: palavra em inglês que significa rascunho do projeto.

¹⁴ *Project Charter*: traduzido ao português como carta de projeto. Projeto: é entendido na linguagem Seis Sigma como o objeto da melhoria, isto é, problema a resolver, anomalia a eliminar. Diferente de *design*.

- a. Coletar dados validos para quantificar o problema ou oportunidade. Usualmente esta informação crítica redefine completamente a carta de projeto inicial construída no passo um.
- b. Começar a dar os primeiros indícios da causa da anomalia.

Tais medições podem ser feitas em três categorias ou partes do sistema como mostrado na Figura 2-3:

- *Output*¹⁵ ou *Outcome*¹⁶: *output* foca nos resultados imediatos (defeitos); e *outcome* diz respeito do impacto (satisfação).
- Processo: elementos que podem ser rastreados e medidos. Estes itens usualmente ajudam a identificar as causas do problema.
- *Input*: Elementos que entram no processo para serem transformados em *outputs*.

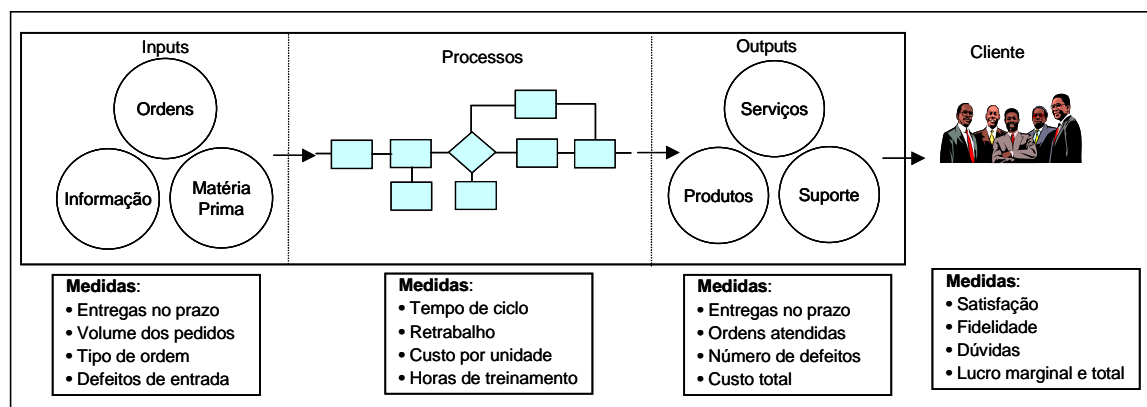


Figura 2-3 Medidas Mais Comuns em Cada Elemento do Processo.

Fonte: Adaptada de Pande (2001, p. 34).

Determinar o que medir não é uma tarefa fácil, já que na hora de coletar os dados aparecem múltiplas opções, e por isso a equipe deve fazer um planejamento cuidadoso da medição.

Existem cinco medidas fundamentais no escopo do Seis Sigma: a medida de satisfação do cliente, a retenção dos clientes, a aquisição de novos clientes, a lucratividade e a participação em contas nos segmentos alvo de cada empresa da cadeia (MIYOSHI, 2003).

¹⁵ *Output*: entendido como saída do processo.

¹⁶ *Outcome*: entendido como resultado do processo.

Uma vez que a equipe determinou o que medir, deve ser criado o Plano de Coleta, que inclui como coletar os dados (folha de coleta de dados), quantas amostras e de que tamanho, e com que frequência medir.

Como resultado desta etapa, algumas empresas já conseguem o calcular o nível sigma, e o número de defeitos por unidade. Isto dá uma idéia da performance e o nível da empresa, e abre oportunidades de melhoria.

2.4.3 Passo 3: Analisar

Nesta etapa o DMAIC pesquisa os detalhes, e intensifica o entendimento do problema encontrando a causa por trás do problema. O objetivo neste estágio é encontrar a causa fundamental. Algumas vezes a causa fundamental é evidente, e o procedimento DMAIC passa rapidamente por todas suas etapas, mas em outros casos a causa fundamental encontra-se oculta por trás de documentos, procedimentos tradicionais e pessoas fazendo as coisas “a sua maneira”, sem padronização, e o ciclo DMAIC consome mais tempo e esforço.

Um dos princípios do DMAIC é considerar muitas causas sem se desviar das experiências passadas, isto é, utilizar o bom senso e a experiência da equipe com respeito a situações anteriores.

As categorias que normalmente são analisadas através das causas, são conhecidas como 4M1P (máquinas, materiais, medição, meio ambiente, pessoas). Essas causas que encontram-se na Figura 2-4, e são chamadas de causas especiais ou assinaláveis, baseado-se no princípio de Pareto “*Poucas causas são vitais e muitas triviais*”. Kume (1993) afirma que causas assinaláveis são provocadas pelo não cumprimento de certos padrões ou pela aplicação de padrões inadequados.

Este diagrama causa-efeito, ou diagrama de Ishikawa, é uma das ferramentas geradoras de idéias mais poderosas adotada pela metodologia Seis Sigma para chegar à causa raiz. A AIAG¹⁷ (2002) foca o diagrama causa-efeito no sistema metrológico, então as categorias analisadas são: padrão,

¹⁷ AIAG: *Automotive Industry Action Group*.

peça, instrumento, operador/procedimento, ambiente e também podem ser utilizadas caso o alvo do projeto seja a avaliação do sistema de medição.

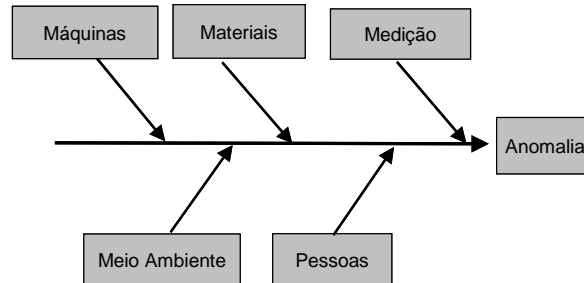


Figura 2-4 Diagrama Causa-Efeito com Categorias de Medidas.

DMAIC busca as causas através do Ciclo de Análise Figura 2-5, que basicamente é o procedimento de medir, colocar hipóteses iniciais procurando a causa fundamental, realizar um teste rejeitando as causas menos prováveis e aceitando aquela que é fundamental. Neste ciclo, é fundamental aplicar corretamente as ferramentas estatísticas escolhendo aquelas que lhe são adequadas à realidade da sua operação.

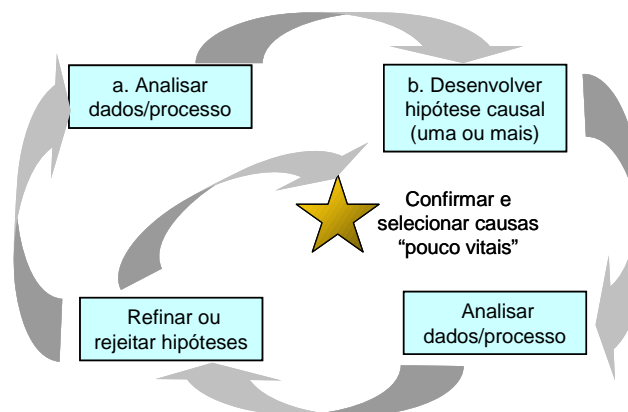


Figura 2-5 Ciclo de Análise da Causa Raiz.

Fonte: Pande *et al*, (2004, p.262).

Outra das ferramentas essenciais do 6σ é o mapeamento de processo, que é a documentação do processo na qual o processo é analisado procurando anomalias presentes e potenciais como gargalos, descontinuidades, redundâncias, ciclos de retrabalho e inspeções.

Tanto Perez-Wilson (2000) quanto Pande (2004) consideram que a etapa da análise é uma etapa fundamental no procedimento de eliminação de anomalias, e mencionam a análise de causa lógica, que não é outra coisa que a investigação de dados que circundam o problema, e que requer disciplina, mente aberta, pensamento lógico e criativo e é justamente por esse motivo que a estratégia é conhecida como estratégia que quebra paradigmas¹⁸.

2.4.4 Passo 4: Melhorar (*Improve*)

Todos os passos anteriores só mostram resultados na etapa de melhoria, uma vez que o trabalho braçal de levantamento e análise de informação já foi completado, e a equipe pode concentrar suas energias em maximizar os benefícios decorrentes de todo o esforço anterior.

Pode-se dizer que o melhoramento é o passo final do planejamento. Nesta etapa a geração de idéias é o núcleo do sucesso e a criatividade joga um papel importante no melhoramento, e como idéias inovadoras não são abundantes nas reuniões de equipes de melhoria, emprega-se o *benchmarking* para adotar as melhores práticas utilizadas por empresas classe mundial.

Embora difícil, a geração de idéias deve ser promovida pela liderança da empresa, empregando mecanismos que colem as iniciativas que vem da força laboral. Ferramentas como o *brainstorming*, ou chamada por Harry (1994) *brainwriting*, ao se referir à prática de geração de idéias de forma escrita, são freqüentemente utilizadas para tal objetivo. Gupta (2005) coloca a inovação como chave para o sucesso do projeto, e divide o pensamento em: pensamento de processo, pensamento estatístico, pensamento inovador, que combinados pela equipe conseguem relacionar as variáveis e identificar o impacto de cada uma delas.

Após concluído o processo de geração de idéias deve ser feita uma síntese e seleção de soluções que se adequem aos resultados esperados em relação a redução de defeitos, tempos de ciclo, satisfação do cliente, etc.

¹⁸ *Breakthrough Strategy*: Este é o termo que aparece na literatura em inglês, e na literatura em português foi traduzido como estratégia de quebra de paradigmas.

A etapa final do ciclo de melhoramento é a declaração de soluções que é o relatório claro de uma melhoria proposta. Esta ferramenta facilita a comunicação e compreensão da mudança por todos na empresa, e se converte em objetivo do projeto uma vez que passou por todo um procedimento lógico e racional.

Neste ponto, o projeto já pode ser implementado, é justamente por esse motivo que alguns autores acrescentam outro I na sigla DMAIIC, para exprimir a implementação (PANDE, 2001). Por mais que pareça fácil, a etapa da implementação deve ser cuidadosamente aplicada, rastreada, e registrada, incluso porque anomalias potenciais podem aparecer nesta etapa.

2.4.5 Passo 5: Controlar

As organizações são como uma fita elástica, que no início das mudanças e implementações pode esticar e adotar a forma desejada, mas quando o esforço deixa de ser aplicado, ela retorna a sua forma original (PANDE 2001). Evitar que a organização volte à forma anterior é o objetivo principal da etapa de controle, e para tal, a equipe tem tarefas fundamentais como:

- Desenvolver um procedimento monitorado para manter as mudanças.
- Criar um plano de resposta para anomalias que possam reaparecer.
- Ajudar à gerência a focar a sua atenção em poucas medições críticas que dêem informação global do processo.

Controlar implica dar ao projeto a importância necessária, definir claramente as responsabilidades de cada um dentro da rotina do dia-a-dia e garantir suporte para que o impacto das mudanças seja duradouro .

Para Harry (1994), controlar é documentar e monitorar todas as decisões, medições, e indicadores de desempenho do processo. Já Pande (2004) dá um significado mais abrangente à fase de controle. O primeiro passo é implementar medidas em andamento e ações para sustentar a melhoria, em seguida definir responsabilidades para propriedade e gerenciamento do processo, depois executar o ciclo de gerenciamento e por último direcionar ações para atingir o nível Seis Sigma.

Esta é a última fase do ciclo DMAIC, e também a primeira, já que o ciclo deve reiniciar. Na seção subsequente é apresentado o procedimento próprio do TQC (*Total Quality Control*) para eliminação de anomalias, e também outros métodos utilizados por empresas classe mundial; isto com o intuito de comparar a sequência desses ciclos com a sequência proposta pela Metodologia Seis Sigma.

2.5 Alguns Procedimentos para Eliminação de Anomalias

A natureza repetida e cíclica do melhoramento contínuo é resumida pelo ciclo PDCA no qual estão baseados alguns dos métodos para eliminação de anomalias. O ciclo PDCA pertence ao TQC.

2.5.1 QC Story

O controle da qualidade consta essencialmente de: planejamento da qualidade, manutenção da qualidade e melhoria da qualidade. Para manter a qualidade a padronização é fundamental e estabelecer novos padrões é a base do melhoramento da qualidade. O *QC Story* (Histórico do Controle da Qualidade) ou rota da qualidade é um método de solução de problemas da JUSE¹⁹ baseado no ciclo de melhoria PDCA, e segundo Campos (1992) é a peça fundamental para que o controle da qualidade possa ser exercido, vale lembrar neste estágio, que melhorar a qualidade é reduzir a variabilidade nos processo e produtos, (MONTGOMERY, 1997).

O domínio do *QC Story* é o princípio do TQC. Para Tijerina (2001), a rota da qualidade é uma sequência de atividades utilizadas para solucionar problemas ou realizar melhorias em qualquer área do trabalho. Esta metodologia proporciona uma análise baseada em fatos e dados com foco na padronização e na melhoria contínua.

Na Tabela 2-5 aparecem os passos fundamentais do *QC Story*, junto com as tarefas a desenvolver em cada passo e as ferramentas que podem ser utilizadas. Para Kume (1993) os passos do *QC*

¹⁹ JUSE: (Union of Japanese Scientist and Engineers)




Story resumem-se em identificação do problema, observação, análise, ação, verificação, padronização e conclusão; ele também afirma que este procedimento é uma espécie de estória ou enredo das atividades do controle da qualidade e, por causa disso, é conhecido como *QC Story*

2.5.2 Análise Por que-Por quê.

Outra técnica utilizada para ajudar a entender a forma como ocorrem as anomalias é a Análise por que-por quê. Esta é uma técnica simples, mas efetiva, e começa com o estabelecimento do problema e a pergunta: por quê o problema ocorreu. Liker (2004) inclui no seu livro *The Toyota Way* uma metodologia de solução de problemas em sete passos. Esses sete passos incluem os cinco por quês.

Esta análise é feita depois de ter identificado as causas mais importantes, desta forma, a causa é retomada e pergunta-se de novo por quê essa anomalia ocorreu, e assim por diante, até que uma causa pareça suficientemente auto-contida para ser atribuída a ela mesma. O ciclo termina quando respostas à questão por quê não possam ser geradas. Na Figura 2-6 se ilustra o esquema de funcionamento da técnica; as causas encontradas são desdobradas em outras causas através da pergunta por quê, até que não possa ser subdividida mais uma vez.

Tabela 2-5 Subtarefas e Ferramentas Empregadas pelo QC Story.

	TAREFAS	FERRAMENTAS EMPREGADAS
PASSO 1: IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA 	Escolha do problema	Diretrizes gerais da área de trabalho
	Histórico do problema	Dados, gráficos, fotografias
	Mostrar perdas atuais e ganhos viáveis	Gráficos com resultados e projeções
	Fazer a análise de Pareto	Pareto
	Nomear responsáveis	Definir responsáveis pelas ações
PASSO 2: OBSERVAÇÃO 	Descoberta das características do problema através de coleta de dados	Análise de Pareto, estratificação, lista de verificação, priorização
	Descoberta das características do problema através de observação no local	Análise do local de ocorrência do problema
	Cronograma, orçamento e meta	Cronograma
PASSO 3: ANÁLISE 	Definição das causas influentes	<i>Brainstormig</i> , por que por que? E digrama causa efeito
	Escolha das causas mais prováveis (hipóteses)	Diagrama causa-efeito, técnica de votação
	Análise das causas mais prováveis (verificação de hipóteses)	Pareto, diagrama de relação, histogramas
	Teste de consistência da causa fundamental	Existe evidência de que é possível bloquear?
PASSO 4: PLANO DE AÇÃO 	Elaboração da estratégia de ação	Dinâmica de grupo
	Elaboração do plano de ação para o bloqueio e revisão do cronograma e orçamento final	5W2H, <i>what, when, who, where, why, how, how much</i>
PASSO 5: AÇÃO	Treinamento	Divulgação, reuniões
	Execução da ação	Plano, cronograma
PASSO 6: VERIFICAÇÃO 	Comparação dos resultados	Pareto, cartas de controle, histogramas
	Listagem dos efeitos secundários	Discussão em grupo, lista de efeitos positivos e negativos
	Verificação da continuidade ou não do problema	Gráficos de controle
PASSO 7: PADRONIZAÇÃO 	Elaboração ou alteração do padrão	5W2H
	Comunicação	Comunicados, circulares, reuniões
	Educação e treinamento	Reuniões e palestras
	Acompanhamento da utilização do padrão	Lista de verificação
PASSO 8: CONCLUSÃO	Relação dos problemas remanescentes	Análise de resultados, gráficos
	Planejamento do ataque aos problemas remanescentes	Aplicação do método de solução de problemas
	Reflexão	Avaliar atuação e identificar oportunidades de melhoria

Fonte: Adaptada de Campos (1992 b, p. 211) e Ferreira (2005).

A Toyota segue um caminho lógico para solução de problemas que como foi dito, passa pela análise por que-por quê. Na linguagem da Toyota, o método de solução de problemas é “encarar a situação” e começa observando a situação com mente aberta e comparando o estado atual com os padrões estabelecidos. Para entender e solucionar a anomalia, deve se estar onde o ela acontece, isto é, no *gemba*²⁰. Depois é feita uma análise de Pareto para priorizar a probabilidade de ocorrência de anomalias, que como diz Liker (2004) é uma ferramenta simples, mas poderosa.

²⁰ *Gemba*: palavra japonesa que significa chão-de-fábrica.

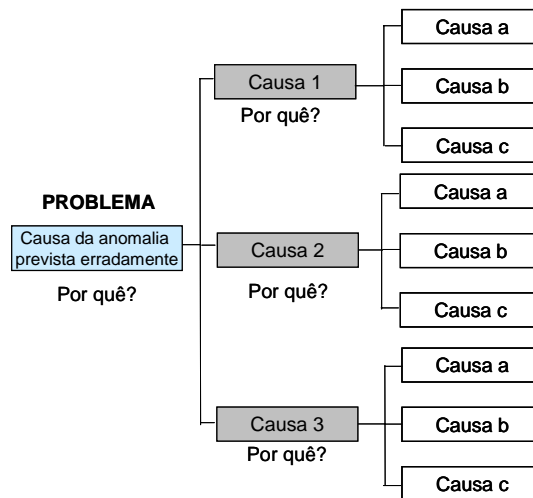


Figura 2-6 Análise Por que-Por quê.

Fonte: Adaptada de SLACK *et al.* (2002 p.620).

Com a análise de Pareto se obtém dados de severidade, frequência, natureza, fonte e os dados estão prontos para serem analisados através de ferramentas estatísticas. Em esta etapa, a primeira tentativa de causa fundamental já foi identificada, então o passo a seguir é o por que-por quê até chegar na causa raiz. A equipe trabalha em uma estratégia para eliminar a causa ou bloquear seus efeitos, e se o sucesso é promissor, então o passo final é a padronização, seja estabelecendo um novo padrão ou reformulando o existente.

Até aqui foram analisados três métodos de eliminação de anomalias, o primeiro baseado na metodologia Seis Sigma (DMAIC), o segundo baseado no TQC (*QC Story*), e o terceiro, o método Toyota para eliminação de anomalias que insere o por que-por quê como sendo um dos passos da metodologia de solução de problemas. Esse é um bom exemplo de como as empresas customizam as metodologias de acordo com as suas necessidades.

Outras metodologias utilizadas por empresas classe mundial aparecem a seguir. O *Global Eight Disciplines* é a técnica de eliminação de anomalias utilizada pela *Ford Motor Company*. Este é aplicado como resposta a reclamações por parte dos clientes, quando existe uma lacuna em algum indicador da qualidade, e quando a situação é tão complexa que não pode ser deixado nas mãos

de uma pessoa só. Segundo Tijerina (2001) as oito etapas da metodologia são: Preparação para o processo Global 8d's como é chamado, estabelecer a equipe, descrever o problema, desenvolver ações de contenção internas (ICAs), definir e verificar a causa raiz e o ponto de escape, escolher e verificar as ações corretivas permanentes, prevenir a reaparição, e reconhecer à equipe sua contribuição individual.

Outra empresa que aprimorou a sua metodologia para eliminação de anomalias foi a *DaimlerChrysler* através de sete passos simples que são: descrição do problema, ações interinas, análise da causa-raiz, estabelecimento de ações permanentes, verificação, controle e prevenção. A AIAG²¹ (2002) desenvolveu um manual de análise de sistemas de medição, sancionado pelas grandes companhias automotivas como a *DaimlerChrysler*, a *GM* e a *Ford Co.* No manual aparece uma seção dedicada a análise de problemas de medição, que consta de sete passos, a saber: Identificar o problema, identificar a equipe, realizar um fluxograma do sistema de medição e do processo de medição, realizar o diagrama causa-efeito, aplicar o ciclo PDSA²², achar a possível solução e testar a ação corretiva e finalmente institucionalizar a mudança.

2.6 Contraste entre o Ciclo de Eliminação de Anomalias DMAIC e outras Técnicas

Como pôde ser observado na revisão anterior, o ciclo DMAIC segue passos similares ao *QC Story*, e utiliza ferramentas da qualidade e de análise comuns a outros procedimentos estudados até a presente seção. O propósito desta seção é apresentar o diferencial da metodologia Seis Sigma para eliminação de anomalias. Para alguns autores, como Montgomery (1997), o Seis Sigma significa o TQC próprio da Motorola, e é factível misturar as duas metodologias devido a sua similaridade com relação a alguns dos princípios em comum, como a orientação para o cliente, o foco no processo e o comprometimento da alta direção. Blauth (2003), concorda com essa afirmação ao dizer que o Seis Sigma é uma extensão do TQC, e que o Seis Sigma não é uma proposta inovadora, se não que aproveita as iniciativas de qualidade que estão em andamento ou que já foram implementadas na empresa, harmonizando-as e estabelecendo metas desafiadoras de

²¹ AIAG: *Automotive Industry Action Group*

²² PDSA: *Plan, Do, Study, Act*

redução de desperdício. Nessa última frase conecta-se de novo a metodologia Seis Sigma com a manufatura enxuta.

O Seis Sigma fez sucesso onde o TQC fracassou, já que o TQC possui algumas “armadilhas” ou falências: falta de integração, apatia da liderança, imprecisão da palavra qualidade, metas obscuras, fanatismo técnico, incapacidade de derrubar barreiras internas, treinamento ineficaz e foco sobre a qualidade do produto (PANDE 2004, p. 47).

Já para Siqueira (2005), tanto o TQC quanto o Seis Sigma estão apoiados em ferramentas comuns, mas a gestão das duas é bastante diferente. O TQC tem sua base no aprimoramento contínuo e é considerado como uma jornada na qual nunca se atinge o alvo, já a estratégia Seis Sigma também busca o nível ótimo, mas com alvos bem definidos através dos quais é possível saber quando foram atingidos e faz os ganhos mais evidentes. Barney (2002) afirma que o TQC difere significativamente do Seis Sigma e resumiu sua posição no paralelo que aparece na Tabela 2-6.

Tabela 2-6 Comparação do Seis Sigma com o TQC.

Seis Sigma	TQC
Propriedade executiva	Equipes auto-direcionados
Sistema de execução dos negócios	Iniciativa da Qualidade
Funções verdadeiramente cruzadas	Funções amplamente individuais
Treinamento focado no retorno financeiro e base estatística	Treinamento pobre em ferramentas estatísticas e da Qualidade
Orientação para os resultados do negócio	Orientação para a Qualidade do produto
Aprimoramento “projeto a projeto”	Aprimoramento contínuo
Alvo palpável	Alvo intangível

Fonte: Adaptada de Barney (2002), Siqueira (2005).

Com relação à eliminação de anomalias propriamente dita, o *QC Story*, é um procedimento mais extenso e complexo do que o ciclo DMAIC. O *QC Story* inclui etapas como nomear responsáveis que no DMAIC não é necessário, já que existe uma equipe determinada, e uma vez que a melhoria é escolhida os responsáveis por sua implementação e sustentação são todos os membros da empresa. O *QC Story* é fraco na definição do problema, não possui registro da definição, e passa diretamente para a observação e análise. A etapa de medição não existe, ele baseia-se no

histórico do problema, isto é, registros anteriores de frequência, perdas, etc, mas não realiza medições atualizadas nem se concentra em ferramentas estatísticas. Uma abordagem importante que estabelece o *QC Story* no âmbito do TQC é a ênfase na padronização que definitivamente é o segredo do sucesso da implementação da melhoria. Para Pyzdek (2003), a vantagem do Seis Sigma frente ao TQC é assegurar que as melhorias possuam os recursos suficientes para sua manutenção. O fato de o TQC não se envolver com ferramentas estatísticas pode ser vantagem para o tipo de operação de algumas empresas, por esse motivo é tão importante que a equipe de melhoria e a gerência sejam capazes de avaliar qual a metodologia a ser acolhida.

Em relação à técnica do por que-por quê, ela é de certa forma, uma maneira de encontrar a causa principal, através de questionamentos. Liker (2004) também assegura que o Seis Sigma é uma extensão do TQC, e que o seu foco é no treinamento de especialistas o que resulta muito caro. Ele também assegura que embora a Toyota não tenha um programa Seis Sigma implementado, ela consegue através de ferramentas estatísticas um alto nível de qualidade. A estratégia Seis Sigma parece mais complexa do que realmente é, e prova de isso é que a Toyota aplica um caminho lógico para solução de problemas que investe um esforço enorme em uma definição detalhada da anomalia a resolver.

Só para sintetizar, a estratégia Seis Sigma apresenta vantagens com relação a outros métodos porque além de ter seu fundamento no ciclo de melhoria contínua PDCA enriquece seu desempenho com métricas específicas relacionadas com a variabilidade dos processos, com uma forte orientação para o cliente, e com uma documentação sólida para sustentar a implementação das melhorias.

Termina assim o capítulo explicativo da estratégia, deixando o caminho pronto para o estabelecimento do modelo para eliminação de anomalias no capítulo seguinte.

CAPÍTULO 3

3 MODELO DE REFÊRENCIA PARA ELIMINAÇÃO DE ANOMALIAS EM PROCESSOS DE MANUFATURA

Este capítulo entra detalhadamente no modelo proposto nesta dissertação para prevenção e eliminação de anomalias nas operações dos sistemas produtivos em indústrias de manufatura, incluindo as ferramentas recomendadas em cada um dos módulos.

O modelo é aplicável a empresas manufatureiras, com nível de automação médio ou baixo, com certo grau de verticalização, onde o ambiente é mais susceptível de anomalias causadas por erro (humano) e onde também existe uma alta probabilidade de ocorrência de anomalias relacionadas com falhas (equipamentos, matéria-prima fora das especificações, manutenção não programada das máquinas etc).

O modelo proposto nesta dissertação percorre a sequência própria da metodologia Seis Sigma, na sua estratégia de solução de problemas DMAIC²³, e o seu ponto de partida encontra-se nas atividades da rotina do dia-a-dia, por ser justo ali onde tudo pode ou não acontecer. Isto quer dizer, que a maneira como a sequência de cada uma das operações do sistema produtivo são desenvolvidas no dia-a-dia, influencia a ocorrência ou não de anomalias, e é nessas tarefas que a prevenção das mesmas tem a sua raiz. Além disso, o modelo inclui a forma como a empresa mede o desempenho da sua operação fazendo ênfase nas métricas do Seis Sigma.

²³ DMAIC: Das siglas em inglês (*Define, Measure, Analyse, Improve, Control*)

3.1 Arquitetura do Modelo

O modelo completo aparece ilustrado na Figura 3-1 e está composto por três módulos distribuídos assim: um primeiro módulo da rotina do dia-a-dia, que é o fundamento do funcionamento normal das operações. Um segundo módulo, de medição de desempenho, que posiciona a empresa em algum nível dentro das escalas das métricas internas e externas que são de interesse na aplicação do modelo, e por fim um terceiro módulo, que aplica a sequência sugerida pela Metodologia Seis Sigma, denominada estratégia DMAIC com cada um dos seus cinco passos: definir, medir, analisar, melhorar e controlar.

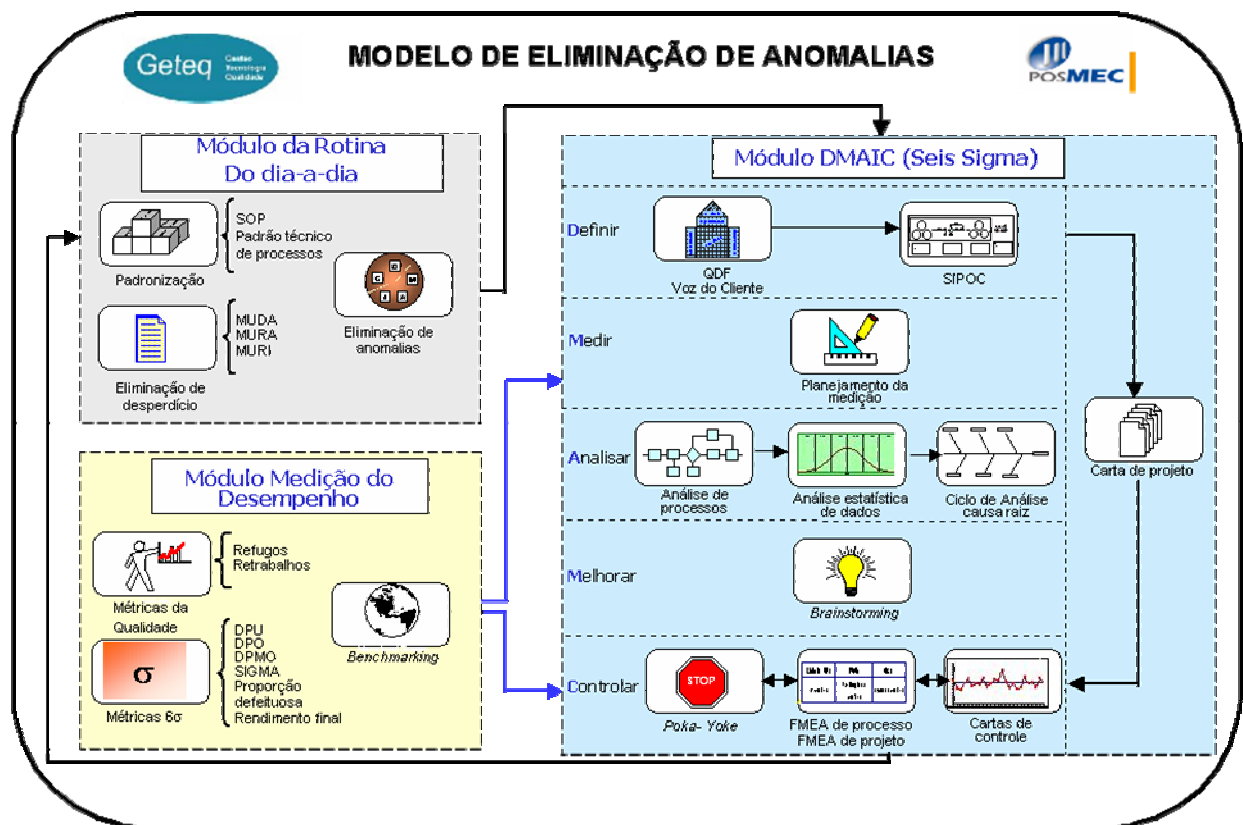


Figura 3-1 Modelo de Eliminação de Anomalias.

Nas seções seguintes é apresentado o conteúdo de cada um dos módulos e a relação existente entre os três, com o objetivo de detectar, prevenir e eliminar anomalias nos processos de manufatura.

Existe uma relação cíclica e de interdependência entre esses módulos que é descrita assim: O primeiro módulo abrange as tarefas próprias da rotina o dia-a-dia; como foi dito nos capítulos um e dois, o seis sigma não opera por si só, e é justamente por esse motivo que este módulo inclui a padronização, a eliminação de desperdício e a eliminação de anomalias que fazem parte da maneira como as equipes de melhoria contínua encaram os problemas. Há uma seta preta que tem origem no quadro eliminação de anomalias e leva diretamente ao ciclo DMAIC, este é um procedimento pré-estabelecido e padronizado e que funciona tanto no curto quanto a longo prazo.

O procedimento proposto no ciclo DMAIC não é rotineiro, mas o modelo deve ser estabelecido e padronizado. O que é rotineiro é o padrão que resulta da melhoria feita à operação através do ciclo, e é por isso que ele retorna através da seta desde o DMAIC até o quadro da padronização.

Esses três módulos encontram-se conectados, já que existe uma ligação direta entre o funcionamento da rotina do dia-a-dia na sua etapa de eliminação de anomalias e o módulo DMAIC que é o meio para alcançar uma meta de melhoria contínua.

A fonte principal de oportunidades de melhoria se encontra na medição do desempenho, portanto, esse módulo está conectado com o módulo DMAIC nas etapas de análise e controle. O módulo da rotina do dia-a-dia envolve duas práticas *Lean* importantes, como a padronização e a identificação e eliminação de desperdício. Uma recomendação inicial é que o programa cinco S's esteja implementado, já que ele faz parte da mudança de cultura da empresa, e também ajuda para que o posto de trabalho, as ferramentas e os procedimentos façam com que a operação seja menos susceptível de erros.

A sequência de aplicação do modelo encontra-se ilustrada na Figura 3-2e ocorre da seguinte maneira: As anomalias podem ter origens diferentes, e o modelo conta com mecanismos de detecção em vários estágios; assim, anomalias podem ser detectadas através do questionário 3Ms no módulo da rotina, também através das métricas próprias do módulo de medição de desempenho e/ou através das ferramentas de controle na quinta etapa do módulo DMAIC. Assim que a anomalia é detectada o procedimento a seguir é a aplicação do ciclo DMAIC propriamente dito na mesma ordem em que se encontra disposto no módulo correspondente; desta forma, se a solução achada for eficiente, eficaz e viável procede-se a padronizar, voltando assim ao primeiro

módulo. Se a solução não for a mais adequada, então o ciclo DMAIC deve ser percorrido novamente.

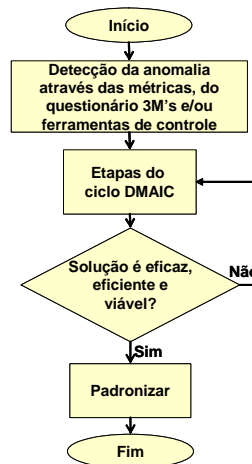


Figura 3-2 Sequência de Aplicação do Modelo.

Nas seções seguintes são estudados os módulos, explicando o conteúdo e objetivo de cada um, e as ferramentas sugeridas para atingir esses objetivos.

3.2 Módulo da Rotina do Dia-a-dia

Como foi dito em seções anteriores, o Seis Sigma não opera por se só, e por causa disso este módulo ilustrado na Figura 3-3, inclui dois conceitos fundamentais para a eliminação de anomalias; um deles é a padronização, já que é o segredo do funcionamento normal das operações. Padronização significa que as tarefas são desenvolvidas rotineiramente sempre da mesma maneira, com os mesmos materiais, com as mesmas ferramentas, na mesma sequência e no mesmo período de tempo.

O módulo, também contempla outra prática própria da Manufatura Enxuta que é a eliminação de desperdício, e o procedimento de eliminação de anomalias. Este último é amplificado no módulo DMAIC.

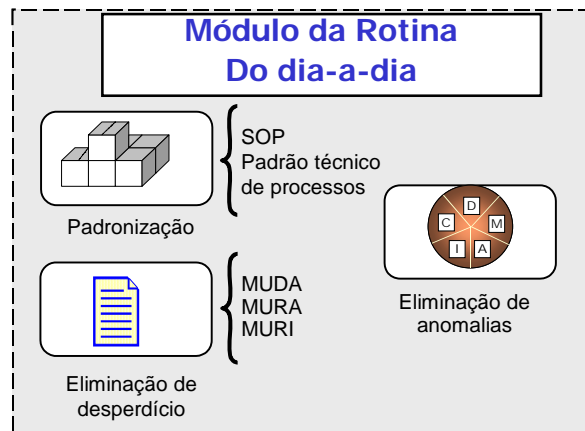


Figura 3-3 Seção do Modelo: Módulo Gerenciamento da Rotina.

A seguir são estudadas as ferramentas que fazem parte do módulo da rotina do dia-a-dia, e a aplicação das mesmas é discutida no capítulo seguinte através do estudo de caso.

3.2.1 Padronização

A padronização é vital para o funcionamento normal da operação, já que quando um método ou procedimento é padronizado, é porque foi achada a melhor maneira de proceder para obter algum resultado esperado. A padronização também é chave para a qualidade dos produtos; justamente, foi a necessidade de intercambiabilidade de peças e produtos o que originou o conceito de padronização ao redor do mundo. Um padrão só é estabelecido quando existe um objetivo definido (qualidade, custo, flexibilidade, confiabilidade, velocidade).

O procedimento para padronização que utiliza o modelo é o descrito por (CAMPOS, 1992 a):

- ✓ Mapear a área. Isto é, fazer um fluxograma para cada produto explicando os vários processos, começando pelo produto prioritário ou crítico, o fluxograma não precisa ser perfeito da primeira vez, mas precisa ser feito no chão-de-fábrica, conversando diretamente com as pessoas e verificando os fatos.
- ✓ Explicar as tarefas conduzidas em cada processo, quantidade de tarefas nessa área de trabalho e número de pessoas.

- ✓ Montar um manual para cada processo importante detalhando a sequência de operações e as tarefas a serem desenvolvidas em cada uma delas.

Nesta etapa não sobra dizer que o cumprimento dos padrões é fundamental para a prevenção de anomalias, não em vão, a Toyota cotidianamente verifica que os procedimentos e métodos que já foram padronizados estejam sendo seguidos pelos trabalhadores, mesmo que seja uma tarefa tão simples quanto a colocação de um parafuso.

O procedimento de padronização sugerido por Campos (1992 a) e explicado em termos simples é apresentado na Figura 3-4.

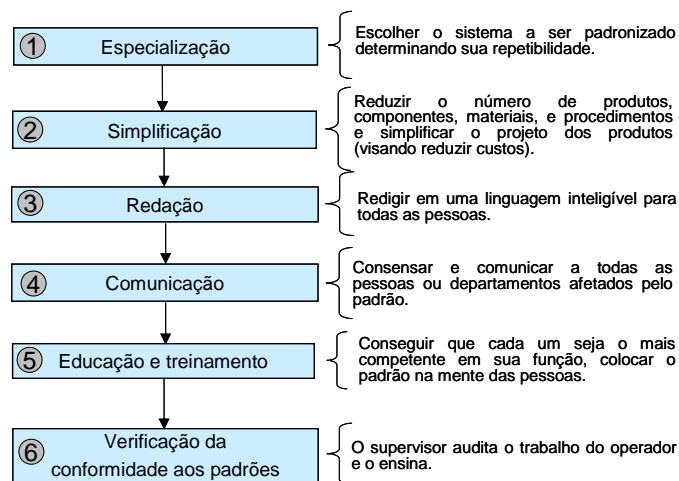
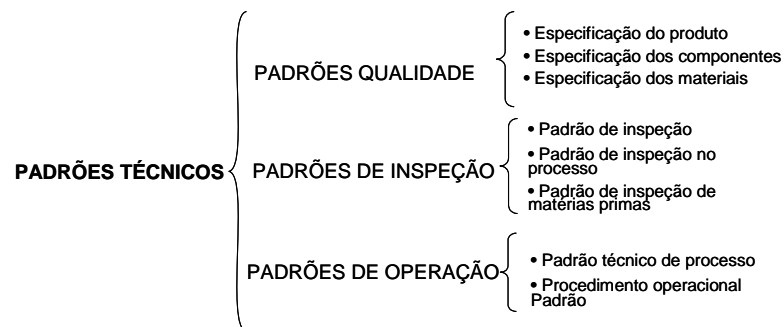


Figura 3-4 Processo de Padronização nas Empresas.

Fonte: Campos (1992 a)

Na Figura 3-5, aparece a classificação geral dos padrões técnicos feita por Campos (1992 a). Estes estão divididos em padrões de qualidade, de inspeção e de operação. Para a aplicação do modelo, os padrões técnicos de operação são de vital importância, embora padrões de qualidade e de inspeção sejam fundamentais para a prevenção de defeitos. No capítulo introdutório foi explicado que o modelo concentra-se nas operações do sistema produtivo, por tal motivo a ênfase é feita nos padrões técnicos de operação, já que se estes forem corretamente estabelecidos e cumpridos pela força operacional, as oportunidades de erro e ocorrência de anomalias seria altamente reduzida.

**Figura 3-5 Estrutura dos Padrões Técnicos.**

Fonte: Campos (1992 a).

O padrão técnico de processo ilustrado na Tabela 3-1, é o documento básico para o planejamento do controle de processo e mostra todo o processo de fabricação de um produto ou execução de um serviço, as características da qualidade, os parâmetros de controle e o método de verificação para cada parâmetro de controle além de como agir para corrigir erros. É fundamental porque ele traduz para os operadores da empresa as necessidades dos clientes através dos itens de controle. Deve existir um padrão técnico de processo para cada produto ou para cada família de produtos da empresa.

Tabela 3-1. Modelo Sugerido para Padrão Técnico de Processo.

PROCESSO		QUALIDADE ASSEGURADA	NÍVEL DE CONTROLE		MÉTODO DE VERIFICAÇÃO			AÇÃO CORRETIVA	
Nome do processo	Operação	Característica da qualidade	Parâmetro de controle	Valor padrão	Pessoa responsável	Medição	Instrumento de medição	Ação	Assessoria técnica

Já o procedimento operacional padrão (SOP²⁴), é preparado para as pessoas diretamente ligadas à tarefa com o objetivo de atingir de forma eficiente e segura os requisitos da qualidade e é dirigido ao operador. Geralmente o SOP contém a listagem dos equipamentos, peças e materiais utilizados na tarefa, incluindo: os instrumentos de medição, padrões de qualidade, descrição dos

²⁴ SOP: do inglês *Standard Operational Procedure*.

procedimentos da tarefa por atividades críticas²⁵, condições de fabricação e de operação e tarefas proibidas em cada operação; pontos de controle ou características da qualidade e métodos de controle; anomalias passíveis de ação e, inspeção diária dos equipamentos de produção. Um modelo sugerido aparece na Tabela 3-2, e deve ser adaptado a realidade da operação.

Tabela 3-2 Modelo Sugerido para SOP.

PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO (SOP)			
Nome da operação _____		SOP Nº _____	
Responsável _____		Estabelecido em _____	
		Revisado em _____	
MATERIAL NECESSÁRIO			
Material	Qty	Material	Qty
_____	<input type="checkbox"/>	_____	<input type="checkbox"/>
_____	<input type="checkbox"/>	_____	<input type="checkbox"/>
_____	<input type="checkbox"/>	_____	<input type="checkbox"/>
ATIVIDADES CRÍTICAS			
1.		6.	
2.		7.	
3.		8.	
4.		9.	
5.		10.	
RESULTADOS ESPERADOS			

AÇÕES CORRETIVAS			

APROVAÇÃO			
Executor _____		Supervisão _____	

3.2.2 Eliminação de Desperdício

No momento em que é detectado e eliminado o desperdício, diretamente está contribuindo-se com a eliminação de anomalias. Como referido por WOMACK (2004), o ponto de partida essencial para o pensamento enxuto é o valor, e este só pode ser definido pelo cliente final.

²⁵ Atividade ou tarefa crítica é aquela na qual, se houver um pequeno erro, afeta fortemente a qualidade do produto, normalmente já ocorreu no passado, e apresenta anomalia na visão dos supervisores.

O modelo sugere a aplicação de um questionário conhecido como a técnica dos três M's, a saber, Muda, Muri, e Mura²⁶, que levanta questionamentos simples para identificar em que recursos ou funções pode haver algum tipo de desperdício, sobrecarga ou inconstância respectivamente. É claro que não é só esse questionário que vai definir aonde o desperdício se encontra, outra ferramenta ágil é o mapeamento do fluxo de valor, que ajuda enxergar o processo na totalidade, com cada uma das características que o compõem. Esta análise será levada em conta no módulo DMAIC na fase de análise do processo.

Os três M's como entendidos no modelo são definidos a seguir:

Desperdício (MUDA) é qualquer atividade humana que consome recursos e não agrega valor (WOMACK *et al* 2004). O Léxico *Lean* (2003) divide o desperdício em dois tipos, aquele que não agrega valor, mas é inevitável dentro de uma determinada situação, e aquele que não agrega valor e pode ser imediatamente eliminado. Muitas das atividades consideradas como desperdício, são também fontes de oportunidades de erros ou ocorrência de anomalias no processo, por exemplo, o transporte, a manipulação desnecessária de material em processo ou produto acabado pode chegar a danificá-lo.

Sobrecarga (MURI) é o oposto do desperdício, ou seja, procurar atingir uma meta com recursos inadequados. Isto é, sobrecarga intensa dos equipamentos ou dos operadores, exigindo-se que operem em um ritmo mais intenso ou acelerado, empregando mais força ou esforço, por um período maior de tempo do que aquele que o equipamento pode suportar (LÉXICO LEAN, 2003).

Inconstância (MURA) significa falta de regularidade em uma operação e se refere a uma situação que esconde o desperdício, isto é, variações e dispersão no processo (LÉXICO LEAN, 2003).

O questionário 3 M's pretende detectar desperdícios (MUDA), inconsistências (MURA), e insuficiências (MURI). Ele navega através das diversas áreas potenciais fontes de problemas,

²⁶ *Muda, Muri e Mura*: palavras japonesas que significam desperdício, sobrecarga e insuficiência respectivamente.

como o recurso humano, os equipamentos e a matéria-prima. O questionário completo aparece no Apêndice II. Recomenda-se fazer esta avaliação anualmente, para perceber o que está fora do equilíbrio ou aquilo que precisa ser eliminado.

3.3 Módulo de Medição do Desempenho

Antes de começar qualquer esforço de melhoramento no sistema produtivo, a empresa deve conhecer como está o nível da sua operação, isto é, a empresa já deve ter feito uma medição do seu desempenho, já deve ter avaliado através dos seus indicadores como ela está posicionada com relação às metas por ela mesma marcadas e com relação a outras empresas; é com essa motivação que o módulo de medição de desempenho está colocado como parte do modelo.

Medir é uma parte essencial da melhoria contínua e do processo de gestão do desempenho, e providencia aos gerentes, empregados de linha de frente e companhias em geral uma ampla variedade de benefícios tanto técnicos como culturais KAYDOS (1999)

“Medição é o primeiro passo para controlar e eventualmente melhorar. Se você não pode medir algo, você não pode entendê-lo. Se você não pode entendê-lo, você não pode controlá-lo. Se você não pode controlá-lo, você não pode melhorá-lo”. (H. James Harrington).

Para Lucero (2002), medir o desempenho é uma atividade tão antiga quanto a humanidade e sob nenhum ponto de vista pode-se colocar como uma ferramenta de gestão moderna, mas a forma de medir sofreu uma mudança muito grande nas últimas três décadas, pois a forma tradicional de medir já não estava fechando o laço de informações necessário para gerenciar o desempenho das empresas.

Para os efeitos procedimentais do modelo, o ponto de vista do Slack *et al*, (2002) ajusta-se com muito conforto. Segundo ele a medida de desempenho é o processo de quantificar a ação, no qual, medida significa processo de quantificação e desempenho da produção é presumido como derivado das ações tomadas pela administração. É o grau em que a produção preenche os cinco objetivos do desempenho Figura 3-6.

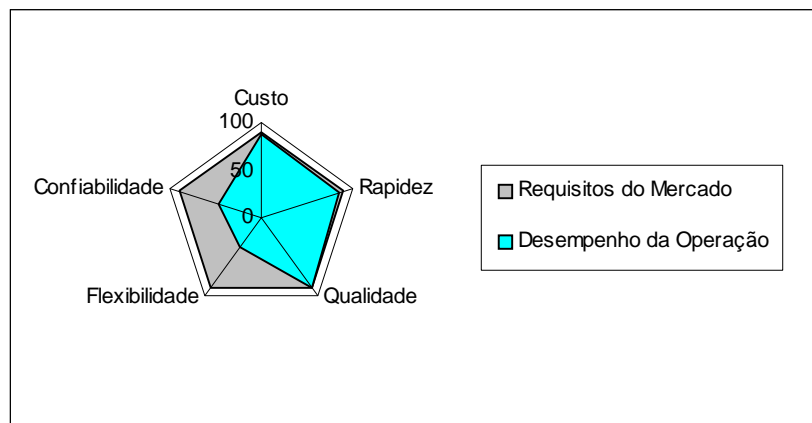


Figura 3-6 Objetivos do Desempenho.

Fonte: Adaptada de Slack *et al*, (2002 p. 591)

Nesse contexto, o segundo módulo do modelo representa uma fonte de oportunidades de melhoria, já que as diferentes métricas apresentadas são o panorama da empresa enquanto ao seu posicionamento em um determinado nível. A Figura 3-7 mostra uma porção do modelo que corresponde à medição de desempenho.

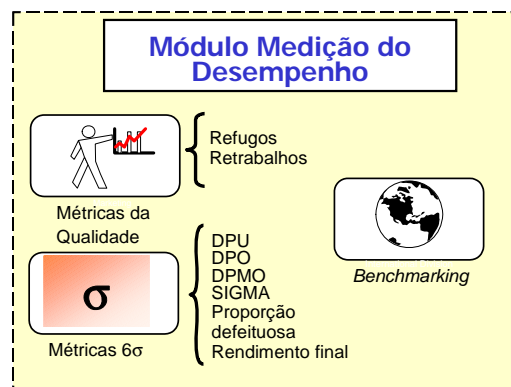


Figura 3-7 Módulo de Medição do Desempenho.

Ele começa com as métricas básicas da qualidade em termos de indicadores de refugo e retrabalho que são a forma primária de medir a qualidade dos produtos durante o processo produtivo. A segunda parte calcula todas as métricas Seis Sigma que não só auxiliam no estabelecimento do nível sigma da produção, mas também proporcionam informação relacionada com o rendimento final da mesma.

A última matéria é o *benchmarking* que tem como objetivo posicionar a operação da empresa comparando-a com uma operação padrão interna, que atingiu o melhor desempenho. Cada um dos tópicos é descrito a seguir.

3.3.1 Métricas da Qualidade

As métricas da qualidade mais comuns são refugos e retrabalhos. A ABNT define retrabalho e refugo assim:

Retrabalho é uma ação sobre um produto não-conforme, a fim de torná-lo conforme aos requisitos. **Refugo** é definido como a ação sobre um produto não-conforme, para impedir a sua utilização prevista originalmente (ABNT 2000).

Estas duas métricas auxiliam no cálculo das métricas do Seis Sigma, e são um indicador forte do atendimento dos requisitos da qualidade por parte da empresa. Ao longo do modelo será utilizada uma das sete ferramentas da qualidade (fluxogramas, diagrama de Ishikawa, *checklist*, diagrama de Pareto, histogramas, diagrama de dispersão e cartas de controle) que facilita não só a visualização de dados, mas também faz parte dos procedimentos de gestão à vista, essa ferramenta é o diagrama de Pareto. Na Figura 3-8 é mostrado um exemplo de gráfico de Pareto que ilustra o nível de refugo e retrabalho por operação. Os dados do gráfico são detalhados no estudo de caso.

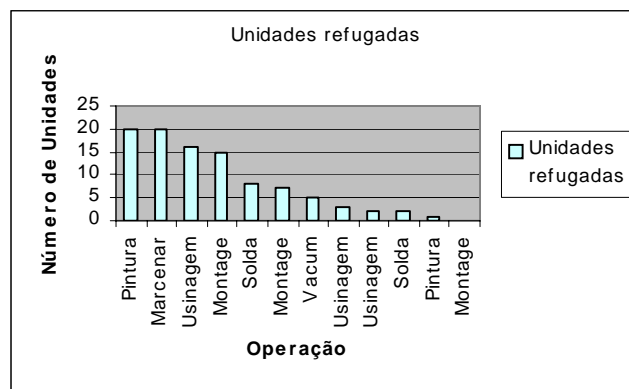


Figura 3-8 Exemplo de Pareto de Métricas da Qualidade.

3.3.2 Métricas Seis Sigma

As métricas Seis Sigma baseiam-se em contagem de defeitos, devido a que o seu foco principal é a eliminação de defeitos em um processo. Esta seção começa com quatro conceitos fundamentais para entender como as métricas Seis Sigma são levantadas, segundo (PANDE 2004)²⁷:

Unidade²⁸: um item que está sendo processado, ou um produto final. Exemplo: uma cadeira odontológica, um refletor, um parafuso, etc.

Defeito: uma falha em atender uma exigência de cliente ou padrão de desempenho. Exemplo: um arranhão na carenagem da base, um vazamento na válvula da unidade de água, etc.

Unidade Defeituosa: qualquer unidade que tenha um defeito. Assim, uma cadeira odontológica com qualquer defeito é tecnicamente tão defeituosa quanto uma cadeira com cinco defeitos.

Oportunidades para defeitos: são as diversas chances para que surja um defeito, e varia de acordo com a complexidade da unidade processada. Isto significa que varia de acordo com o número de componentes, quantidade e complexidade de operações, número de pessoas envolvidas, etc.

Com base nessas definições são desdobradas as métricas do Seis Sigma cujo fundamento é a contagem de defeitos e oportunidades para defeitos. Cada uma das métricas que são empregadas no software para o cálculo e apresentação gráfica das métricas são definidas através de equações a seguir:.

Proporção defeituosa: isto se refere à fração ou ao percentual de amostras de item que contenham um ou mais defeitos.

$$\text{Proporção Defeituosa} = \frac{\text{Número de Defeituosos}}{\text{Número de Unidades}} \quad (\text{Equação 3-1})$$

²⁷ Estes termos pertencem à tradução do livro *The Six Sigma Way*.

²⁸ *Unit*: entendido como objeto ou peça trabalhada.

Rendimento final (Y_{Final}): significa qual a fração das unidades totais produzidas e/ou entregues estava sem qualquer defeito. Ao multiplicar por 100 se obtém o resultado de percentual “bom”.

$$Y_{FINAL} = 1 - \text{Proporção Defeituosa} \quad (\text{Equação 3-2})$$

Defeitos por unidade (DPU): esta medida reflete o número médio de defeitos, de todos os tipos, sobre o número total de unidades da amostra. O resultado indica a probabilidade de que cada unidade tenha um defeito.

$$DPU = \frac{\text{Número de Defeitos}}{\text{Número de Unidades}} \quad (\text{Equação 3-3})$$

Defeitos por Oportunidade (DPO): exprime a proporção de defeitos em relação ao número total de oportunidades em um grupo.

$$DPO = \frac{\text{Número de Defeitos}}{\text{Número de Unidades} \times \text{Número de Oportunidades}} \quad (\text{Equação 3-4})$$

Defeitos por milhão de oportunidades (DPMO): A maioria das medidas de oportunidades para defeitos é traduzida para o formato DPMO, que indica quantos defeitos surgiriam se houvesse um milhão de oportunidades. Especialmente em ambientes de fabricação, o DPMO é freqüentemente denominado “ppm” ou partes por milhão.

$$DPMO = DPO \times 10^6 \quad (\text{Equação 3-5})$$

Medida Sigma: é obtida mediante transformação do DPMO em valor sigma, que é um valor tabelado como aparece no Anexo I.

Rendimento Interno Final ($Y_{\text{Interno Final}}$): Calcula-se a partir de dados coletados dentro da operação. Este indicador mede os defeitos internos que quantificam o rendimento ou o retrabalho que acontece durante o processo. Consiste na contagem das unidades de entrada no processo e na contagem daquelas que por retrabalho ou refugo ficam retidas em alguma etapa do processo.

$$Y_{\text{Interno Final}} = 1 - \frac{\text{Unidades Retrabalhadas e / ou Refugadas}}{\text{Unidades Totais de Entrada no Processo}} \quad (\text{Equação 3-6})$$

3.3.3 Benchmarking

O *benchmarking* permite às empresas se posicionarem em um nível com respeito a outras operações ou outras empresas. É também fonte importante de oportunidades de melhoria, já que com base no *benchmarking* são estabelecidas as metas de melhoria contínua e são adotadas as melhores práticas de outras operações.

O modelo recomenda em uma etapa inicial, um *benchmarking* interno, que oferece como resultado a operação que tem atingido o melhor desempenho e que pode ser utilizada como *benchmark* interno de comparação.

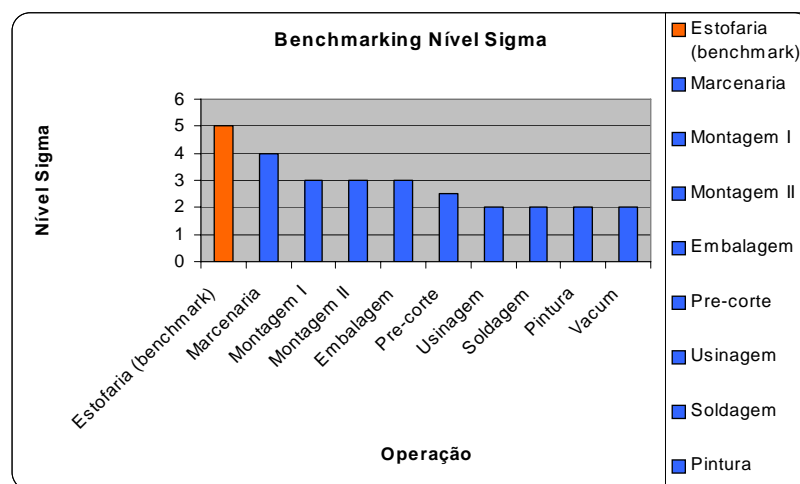


Figura 3-9 Benchmarking interno (entre operações).

Na Figura 3-9 aparece um exemplo do *benchmarking* entre operações sugerido para posicionar cada uma das operações do processo produtivo em relação a outras. Este tipo de resultado é um dos objetivos deste módulo do modelo, visto que ele apresenta um panorama das operações e é uma motivação para adotar as melhores práticas que fizeram com que uma operação determinada (no exemplo a estofaria) possa se posicionar no lugar de *benchmark*.

3.4 Módulo de Eliminação de Anomalias (DMAIC)

O terceiro e último módulo é o módulo de eliminação de anomalias baseado no ciclo DMAIC descrito no capítulo anterior. Os dois módulos anteriores possuem ferramentas e práticas poderosas para detectar e prevenir anomalias, e também para medir como a operação está funcionando. Porém, uma vez que as anomalias ocorrem ou cada vez que surja uma oportunidade de melhoria, a metodologia Seis Sigma proporcionou uma sequência lógica para solucionar as anomalias. Este terceiro módulo contém os cinco passos do ciclo propriamente ditos.

Embora o módulo esteja baseado no ciclo DMAIC, só algumas das ferramentas foram escolhidas para aplicação no modelo, ajustando-o à realidade das indústrias de manufatura. Dentro do módulo também aparecem algumas ferramentas que são recomendadas para obter a documentação necessária para qualquer projeto Seis Sigma. A seção correspondente ao módulo de eliminação de anomalias baseado na estratégia Seis Sigma aparece ilustrada na Figura 3-10.

Cada uma das etapas foi explicada no capítulo três, incluindo os objetivos a alcançar em cada uma, por isso, este capítulo pretende explicar o conteúdo de cada etapa diretamente sobre as ferramentas a serem aplicadas e a documentação que auxilia no desenvolvimento de cada um dos passos.

De um modo geral este módulo passa por cada um dos passos do DMAIC como descrito na figura, e condensa as informações em uma carta de projeto que consiste no resumo de todo o trabalho desenvolvido pela equipe de melhoria através das etapas. A seta indica o recomeço do ciclo, já que na etapa de controle podem aparecer outras oportunidades de melhoria. Lembrando o esquema completo do modelo, tanto o módulo da rotina quanto o módulo de medição do desempenho estão ligados com algumas partes do módulo DMAIC, essas mesmas ferramentas

pertencem originalmente ao ciclo DMAIC, mas para efeitos de uma melhor apresentação do modelo, eles foram separados por módulos.

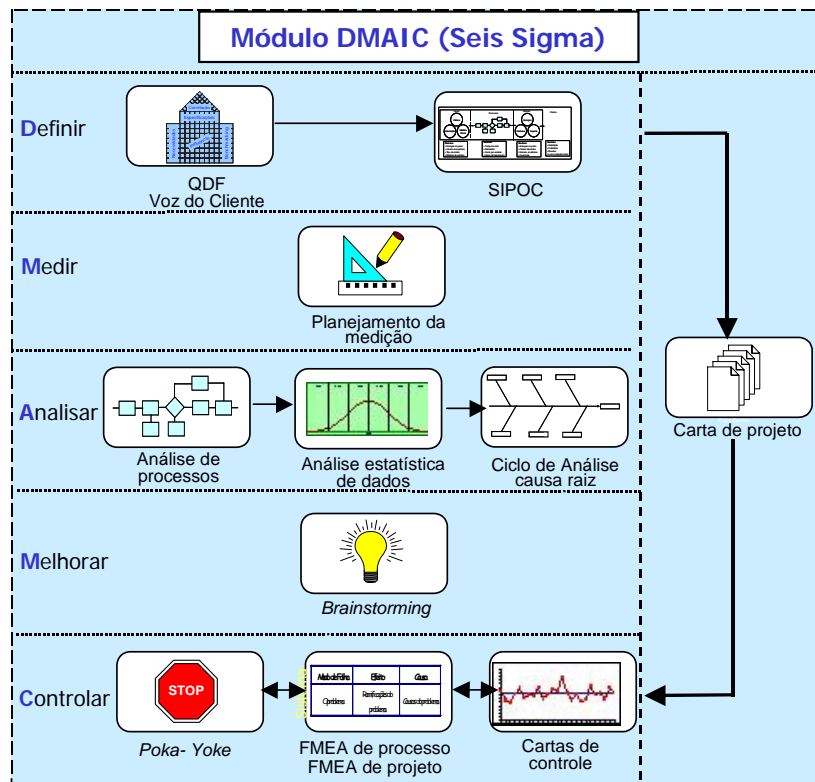


Figura 3-10 Módulo DMAIC.

3.4.1 Definir

Um dos objetivos principais nesta etapa é o completo entendimento do problema a ser resolvido, ou identificação da oportunidade de melhoria que deve ser descrita em termos que possam ser compreendidos por todos os membros da equipe de melhoria.

Em geral na etapa de definição são identificados os seguintes pontos:

- Oportunidade de melhoria.
- Anomalia/Oportunidade e alvo, chamado por Pande (2004) declaração do problema Tabela 3-3.

- c. Que limitações existem para o projeto e que expectativas de recursos tem.
- d. Escopo: quanto do processo e/ou alcance dos resultados está dentro dos limites.
- e. Equipe envolvida: *stakeholders*.
- f. Plano preliminar: quando cada uma das fases do DMAIC será completada.

Tabela 3-3 Elementos de uma Declaração da Anomalia.

O que?	<input checked="" type="checkbox"/> Qual o processo envolvido? <input checked="" type="checkbox"/> O que há de errado? <input checked="" type="checkbox"/> Qual a lacuna ou oportunidade?
Onde? Quando?	<input checked="" type="checkbox"/> Onde se observa o problema/lacuna? <input checked="" type="checkbox"/> Quando se observa o problema/lacuna?
De que tamanho?	<input checked="" type="checkbox"/> Qual o tamanho do problema/da lacuna/da oportunidade? <input checked="" type="checkbox"/> Como é medido?
Impacto?	<input checked="" type="checkbox"/> Qual o impacto do problema/oportunidade? <input checked="" type="checkbox"/> Quais os benefícios da ação, consequências da falta de ação?

Fonte: Pande (2004, p.246)

O modelo recomenda três ferramentas que auxiliam na identificação das oportunidades de melhoria; elas são o QFD,²⁹ o diagrama SIPOC³⁰ e a voz do cliente. A seguir é descrito cada uma delas, e a forma como auxiliam na definição do problema ou oportunidade do projeto Seis Sigma.

3.4.1.1 Voz do Cliente

Basicamente a voz do cliente utiliza toda a informação que é coletada pelo departamento de *marketing*, para conhecer as necessidades dos clientes e como a empresa pode satisfazer cada uma delas. Toda essa informação é fundamental na etapa de projeto de produto, já que dá o panorama do que o cliente está procurando no mercado e que recursos a empresa realmente possui para atendê-los.

Na Figura 3-11 aparece a matriz central do QFD que relaciona os “*quês*” e os “*comos*”, e é uma simplificação da casa da qualidade que adicionalmente relaciona os “*comos*” com os “*comos*”.

²⁹ QFD: do inglês *Quality Function Deployment*.

³⁰ SIPOC: do inglês *Supplier, Input, Process, Output*,

Por ser uma ferramenta própria da fase de projeto não é considerada na sua totalidade para efeitos do modelo. Embora a ferramenta seja complexa, o modelo pretende mostrar a matriz central ou também conhecida como matriz de relacionamento que é uma fonte importante de oportunidades de melhoria.

Desdobramento da Função Qualidade

	Importância	Comos								Ava. Compet.				
		1	2	3	4	5	6	7	8	1 Mínimo	2 Nós	3 Concorrente	4 Concorrente	5 Máximo
Quês														
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
Importância absoluta														
Importância relativa														
Dificuldade técnica														

Figura 3-11 Matriz de Relacionamento (QDF).

Fonte: Adaptada de Pande (2004 p. 394)

A matriz relaciona aquilo que o cliente espera do produto ou serviço e a empresa responde como pretende satisfazer tal necessidade. O QDF colabora na identificação de oportunidades de melhoria toda vez que alguns questionamentos sejam difíceis de responder. Pode ser que essa dificuldade seja uma oportunidade de melhoria em favor da satisfação do cliente.

3.4.1.2 Diagrama SIPOC

Outra ferramenta chave na etapa de definição é o diagrama SIPOC que aparece na Figura 3-12. Como foi definido anteriormente o diagrama SIPOC (*supplier, input, process, output customer*); é essencial para desenvolver uma visão do processo envolvido no projeto Seis Sigma.

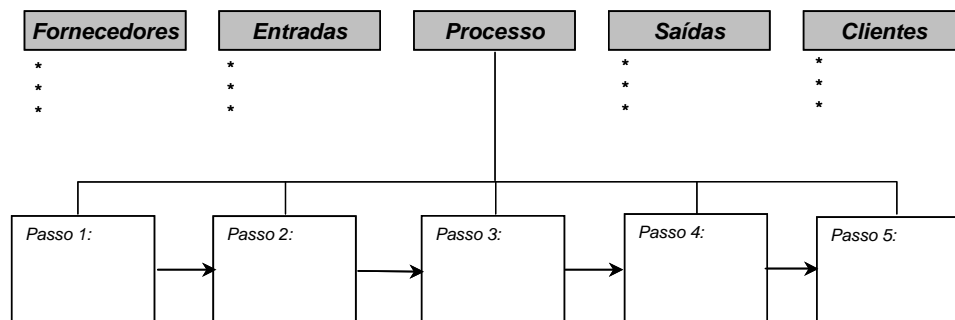


Figura 3-12 Diagrama SIPOC.

Desdobrando o processo em passos é possível algumas vezes achar as primeiras aproximações de causas-raiz já que o diagrama mostra com detalhe todos os elementos do processo produtivo.

3.4.1.3 Carta de Projeto

O produto final da etapa definir é a carta de projeto³¹ que aparece na Figura 3-13, que entre outras coisas inclui a declaração do problema com os elementos que a compõem segundo a Tabela 3-3.

Pode-se dizer que na declaração do problema são expostos os sintomas e na declaração de metas ou objetivos são expostas possíveis soluções. A carta de projeto também inclui as limitações que irão restringir o desenvolvimento do projeto Seis Sigma, estas limitações podem ser do tipo: recursos, espaço, tempo, pessoas, etc. Algumas suposições também são feitas na carta de projeto, elas podem ser da mesma natureza que as limitações.

³¹ *Project charter*: traduzido ao português como carta de projeto.

CARTA DE PROJETO	
Declaração do Problema	
Declaração de Meta	
Limitações	
Suposições	
Diretrizes da equipe	
Membros da equipe	
Plano preliminar de Projeto	
Definir:	
Medir:	
Analisar:	
Melhorar:	
Controlar	
Declaração da Solução	

Figura 3-13 Carta de Projeto.

Em relação às diretrizes da equipe, é descrita a expectativa quanto à maneira pela qual espera-se desenvolver o projeto, e representam as “regras” básicas que irão direcionar a equipe de melhoria. Em seguida é feita uma lista dos membros da equipe nomeando sempre um líder ou responsável pela obtenção da melhoria. É importante inserir datas para cada uma das fases do ciclo DMAIC no plano preliminar do projeto. Por praticidade foi inserida na carta de projeto a declaração da solução isto é, um relatório claro e objetivo da ação que a equipe vai tomar a respeito do problema. Por fim o documento irá acompanhar o projeto nas fases seguintes podendo ainda ser reformulado se através da sequência caso seja percebido que a identificação do problema não foi a melhor.

3.4.2 Medir

Depois de conhecer o problema na sua totalidade, e ter passado pelo estudo do processo envolvido nele, a equipe já pode iniciar o planejamento da medição, isto é, definir o que medir e aonde.

Esta etapa está fortemente relacionada com o módulo de medição de desempenho, que contém as principais medições da qualidade e as métricas Seis Sigma. Elas não só servem como referência, mas também para estabelecimento de metas.

Para começar o processo de medição deve ser feito um planejamento, como estabelecido por Eckes (1954), o planejamento da medição deve incluir o que medir (requerimentos), o tipo de medição a ser feita (no fornecedor, no processo, no produto) e o tipo de dados a serem coletados (discretos ou contínuos). Para desenvolver o plano da medição é vital o diagrama SIPOC, pois este permite estabelecer o tipo de indicador de medição podendo ser utilizado em cada elemento do processo produtivo. O diagrama SIPOC é uma fonte de dados organizada, fácil de identificar e que abrange o sistema produtivo geral.

No planejamento da medição também é avaliado o formulário de coleta de dados já existente, ou construído um caso não exista. O formulário deve ser adaptado para a característica especial que será levada em conta em cada elemento do processo. Esses formulários podem ser dos tipos: folhas de verificação de defeitos ou causas, folhas de dados, folhas de registro de frequências, etc.

Outro tópico a ser levado em conta no planejamento da medição é a estratificação, ou seja, dividir a medição por fatores que possam ser filtrados em momentos posteriores.

Finalmente é definido o plano de amostragem para o qual existem normas preestabelecidas e normas próprias das empresas de acordo com o tipo de inspeção realizada por eles.

3.4.3 Analisar

Uma vez que existem dados sólidos e repetitivos é possível começar a etapa de análise. Já nas fases anteriores foi feita uma primeira aproximação às possíveis causas, e é justo nesta etapa onde elas são encontradas verdadeiramente.

No modelo proposto nesta dissertação são levados em conta três aspectos relevantes no procedimento de análise: uma análise do processo, uma análise dos dados coletados através de ferramentas estatísticas e finalmente o ciclo de análise causa-raiz que emprega as duas anteriores para identificar por fim as causas pouco vitais.

Esta combinação de ferramentas é chamada por Pande *et al* (2004) como “força Seis Sigma”, e as atividades formam a sequência lógica do ciclo de análise causa-raiz.

3.4.3.1 Análise de Processos

Todas as empresas possuem o fluxograma geral do processo produtivo, e com base nele pode ser feita uma identificação das áreas problema para estabelecer que operações estejam também sendo afetadas ou envolvidas na anomalia. A análise do processo é uma investigação e compreensão de como o trabalho está sendo feito para identificar possíveis inconsistências. Para tal, o modelo propõe a avaliação do fluxograma de processo como tradicionalmente é feito e em cima dele pode ser feito o mapa de riscos, isto é, identificar as operações críticas e estabelecer prioridades.

3.4.3.2 Análise Estatística de Dados

A análise de dados utiliza os dados coletados para discernir padrões, tendências ou correlações existentes entre os fatores que influenciam o acontecimento das anomalias. As ferramentas estatísticas clássicas são um bom ponto de partida para a análise dos dados, e especificamente este modelo utiliza diagramas de Pareto, análise de dispersão e diagramas correlação que são auxiliados via *software* a partir da folha de coleta de dados.

O foco das medições do modelo encontra-se nas métricas Seis Sigma que foram tratadas na seção de medição de desempenho, ao final, o nível Seis Sigma é uma medida de dispersão.

3.4.3.3 Ciclo de Análise Causa-Raiz

A análise lógica inclui perguntas da seguinte forma que tipo de categorias de problemas são mais comuns, o que há de diferente a respeito dos tipos mais comuns, se há locais onde o problema é maior, quais as horas, ou dias mais prováveis e quais as condições em que ocorre o problema, e que fatores ou variáveis mudam à medida que o problema muda. Ao entrar nas possíveis respostas a essas perguntas, encontra-se uma luz para eliminar as anomalias e evitar que elas reincidam. Além destas, outras ferramentas de apoio, como diagrama de Pareto, histogramas e diagramas de dispersão e correlação também representam um apoio na análise das causas da anomalia.

Na Figura 3-14 aparece um resumo do que deve ser respondido na fase do ciclo de análise causa-raiz, da mesma forma que a carta de projeto, um documento que apóia o desenvolvimento do projeto Seis Sigma, e que pode chegar a modificá-la.

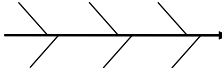
Análise Causa-Efeito			
Descrição sucinta da anomalia			
Resultado Esperado			
Resultado Obtido			
Brainstorming (possíveis causas)			
Causas Fundamentais			
			
Por que ocorre			
Por que			
Por que			
Por que			
Por que			
Plano de ação			
O QUE	QUEM	COMO	QUANDO

Figura 3-14 Algumas Ferramentas Úteis na Etapa Análise.

3.4.4 Melhorar

Na fase de melhoria basicamente ocorrem três eventos, a geração de idéias, a seleção da(s) mais relevante(s) e a implementação das mesmas.

Se as etapas anteriores foram levadas a bom término, o fruto do esforço refletir-se-á na etapa de melhoramento. O modelo traz como ferramenta única nesta etapa o *brainstorming*, que é uma oportunidade de geração de idéias em que todos os membros da equipe participam. Na prática, o *brainstorming* não tem muita aceitação pois o ambiente de manufatura obriga a decisões rápidas, mas se existe na empresa uma equipe de melhoria contínua, esta deve estar em capacidade de guiar as decisões baseadas nas idéias de um grupo multifuncional.

Existem chaves para o sucesso do *brainstorming*, como estabelecer o objetivo do mesmo, ouvir as idéias de todos, não julgar ou comentar as idéias, evitar a autocensura e quebrar os paradigmas. Essa última é a chave que deu o nome alternativo à estratégia DMAIC, e por isso é conhecida por alguns autores como *Breakthrough Strategy*.

As empresas motivadas para a implementação de melhorias devem estar abertas ao aprendizado. Siqueira (2005) define a organização que aprende como aquela que é habilitada a criar, adquirir, interpretar, transformar e reter conhecimento e, propositadamente, modificar seu comportamento para refletir novos conhecimentos. Os pontos-chave no aprendizado nas empresas são a criação, a aquisição e a transferência de conhecimento. Todo conhecimento está baseado no método científico que procura ir além do fenômeno, suas causas e leis, e é fortemente apoiado nos fatos e dados, experimentação e métodos estatísticos como mostrado na Figura 3-15.

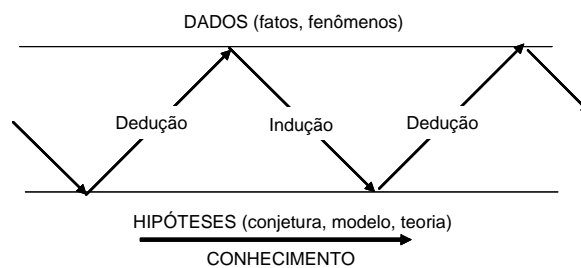


Figura 3-15 Processo Interativo de Aprendizagem.

Fonte: Siqueira (2005).

O elemento resultado da etapa análise deve ser a declaração da solução, que é a escolha da(s) idéia(s) refinada(s) que agregue valor para a organização. As soluções Seis Sigma geralmente são combinações de idéias que em conjunto formam um plano de resultados, seja de redução de defeitos, de tempos de ciclo, de satisfação ao cliente, etc.

Por fim, acontece a implementação da solução, que é o momento esperado por todos. Embora pareça a atividade mais fácil, também é a que representa mais riscos já que impactos inesperados podem acontecer.

Com a implementação termina o projeto Seis Sigma, e a última fase do ciclo DMAIC além de registrar o impacto das mudanças feitas, atua como conexão entre a última e a primeira fase.

3.4.5 Controlar

Em termos simples o controle é a solidificação dos ganhos obtidos até a fase de melhoria, e é uma etapa que deve ser no mínimo rigorosa para não permitir que a anomalia reincida.

Dois objetivos são centrais na etapa de controle, determinar o método técnico de controle e criar um plano de resposta como estabelecido por Eckes (1954).

O plano de resposta pode incluir elementos como alarmes de ação, que são padrões claros colocados em pontos-chave das fases de entrada, processo e saída do processo produtivo utilizando medições que acompanhem o desempenho da operação. Um segundo elemento pode ser o conserto de emergência que incluem aqueles que podem ser feitos rapidamente sem causar impacto em processos adjacentes. E o último é o plano de melhorias contínuas que consiste num processo para identificar e priorizar problemas continuados ou sérios para que se possa atuar sobre eles.

O modelo de eliminação de anomalias apresenta três ferramentas importantes na etapa de controle, e cada uma delas será estudada a seguir.

3.4.5.1 Poka-Yoke

Um dos objetivos deste modelo é justamente a prevenção de anomalias, embora o núcleo dele esteja disposto para a correção quando elas já têm ocorrido. Os dispositivos à prova de erros são métodos que enfatizam a detecção e correção de erros antes que eles se transformem em defeito. No capítulo um foi apresentada a definição completa dos termos empregados no modelo e um deles era erro que é causado por procedimentos equivocados do operador.

Utilizando as palavras de Shingo (1996), os dispositivos *poka-yoke* são um feedback constante e instantâneo que empregam sinais visuais ou sonoros para alertar o ser humano quando erros e falhas estão acontecendo.

3.4.5.2 Análise de Modos de Falha e seus Efeitos

A análise de modo e efeito de falha potencial (FMEA) é também uma ferramenta de controle que se antecipa à ocorrência de anomalias já que ela identifica os problemas potenciais. Ele é tão abrangente quanto a equipe de melhoria precisa que seja, sendo que durante o desenvolvimento da ferramenta, podem ser encontrados dados não só do produto e do processo, como também dos fornecedores e clientes.

O FMEA é tipicamente uma ferramenta preventiva, ela se antecipa às anomalias, identifica as causas e avalia a capacidade dos meios implementados para controlar a falha antes que atinja um estado crítico. O ciclo DMAIC localiza o FMEA na fase de controle, mas na prática observa-se que esta ferramenta atua ao longo do processo completo de melhoria.

O FMEA começa com um mapeamento de riscos em cima do fluxograma ou de uma árvore de processo, assim pode-se ter certeza que as etapas críticas do processo estão sendo levadas em conta. Uma vez seja estabelecida a prioridade, é preenchido o formulário com ajuda de pessoas que sejam idôneas no processo ou no projeto que esta sendo avaliada.

Existem dois tipos de FMEA, de projeto e de processo, que diferem entre si nos tipos de formulações que são feitas através do procedimento, mas cujo objetivo comum é o cálculo do número de prioridade de risco (NPR). Este é o resultado da multiplicação dos índices de severidade, ocorrência e detecção respectivamente. O modelo auxiliado através do *software* realiza o cálculo e apresenta o resumo dos critérios sugeridos para a obtenção de cada um dos índices.

O conteúdo do formulário pode ser observado na Figura 3-16 e na Figura 3-17 que correspondem a FMEA de projeto e processo respectivamente.

ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHA POTENCIAL (FMEA DE PROJETO)																
Sistema:		Responsável pelo projeto:				FMEA Número:										
Subsistema:		Data Chave:				Pág:										
Componente:		Preparado por:				Data FMEA (início):										
Modelo:		Equipe:				(revisão):										
											Resultado das Ações					
Item Função	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Classificação	Causa(s) e Mecanismo(s) Potenciais da Falha	Ocorrência	Controles Atuais do Projeto	Deteção	NPR	Ações Recomendadas	Responsável e Prazo	Ações Tomadas	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR

Figura 3-16 FMEA de Projeto.

Uma vez seja calculado o NPR é feita uma comparação entre os diferentes projetos ou processos e estabelecida a prioridade para encarar aquele que apresentou o maior NPR. Na Figura 3-16e na Figura 3-17 aparece cada um dos itens levantados no FMEA, e pode-se observar que é uma ferramenta de apoio importante na geração de idéias para solucionar as anomalias, além de estabelecer responsáveis e prazos. No FMEA também aparecem as ações que estão sendo tomadas atualmente, o qual serve como informação de entrada na etapa de análise do sistema produtivo.

ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHA POTENCIAL (FMEA DE PROCESSO)																
Item:		Responsável pelo processo:				FMEA Número:										
Modelo:		Data Chave:				Pág.: de										
Equipe:		Preparado por:														
											Resultado das ações					
Função do processo Requisitos	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potencial(is) da falha	Severidade	Classificação	Causa(s) e Mecanismo(s) Potenciais da Falha	Ocorrência	Controles Atuais do Processo	Deteção	NPR	Ações Recomendadas	Responsável e Prazo	Ações Tomadas	Severidade	Ocorrência	Deteção	NPR

Figura 3-17 FMEA de Processo.

3.4.5.3 Cartas de Controle

Finalmente, a última ferramenta empregada pelo modelo na fase de controle são os gráficos de controle, que além de ajudar na tarefa de análise de dados e controle mesmo do processo, resultam ser um documento de gestão à vista que permite que cada operação possa autoavaliar em relação ao seu desempenho.

Os gráficos de controle não só auxiliam no controle, mas também demarcam a tendência do processo, o que permite se antecipar na tomada de decisões e na identificação de oportunidades de melhoria. Desta maneira, cartas de controle são úteis na medição de desempenho e na segunda fase (medir) do ciclo DMAIC.

Na Figura 3-18 é mostrado um exemplo de carta de controle de médias, com o objetivo de ilustrar as partes componentes da carta de controle. Elas estão compostas por uma linha média que representa a média das médias dos dados organizados em subgrupos, o limite inferior de controle, o limite superior de controle, e a linha de pontos que representa a média das medições organizadas em subgrupos.

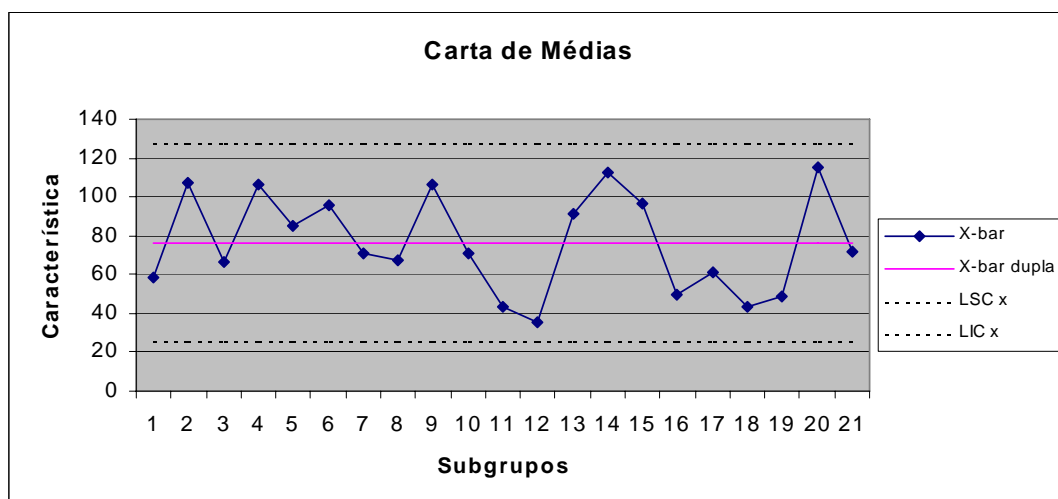


Figura 3-18 Exemplo de Carta de Controle de Médias.

Existem vários tipos de carta de controle, que podem ser divididas em dois grandes grupos, as cartas de controle por variáveis e as cartas de controle por atributos. Para o modelo proposto é utilizada um tipo de carta por variáveis e um outro por atributos, assim, foi escolhida a carta de médias e a carta p .

A carta de médias é a mais comum delas, e plota a média das medições que é um conceito facilmente compreendido por todos os níveis da empresa. Já a carta p mostra a fração defeituosa em uma amostra, conceito que se enquadra bem no contexto Seis Sigma.

O modelo conta com a ferramenta computacional que auxilia na elaboração das cartas de controle com subgrupo constante.

Para finalizar este capítulo, só resta adicionar que o modelo conta com um *software* que auxilia no desenvolvimento das etapas, no registro do histórico de cada um dos passos realizados e no cálculo das métricas. As ferramentas e funcionalidade do *software* são mostrados no capítulo seguinte junto com o desenvolvimento do estudo de caso.

CAPITULO 4

4 APLICAÇÃO DO MODELO ATRAVÉS DE UM ESTUDO DE CASO

Este capítulo pretende fazer a aplicação do modelo proposto no capítulo três através de um estudo de caso em uma indústria de manufatura da região.

O objetivo do estudo de caso é avaliar o comportamento do modelo em um ambiente fabril, tendo como alvo a eliminação de uma anomalia particular na área de projeto e de uma anomalia particular na área de processo.

Como foi estabelecido no capítulo três, o modelo é aplicável a indústrias de manufatura com certo grau de verticalização e nível médio ou baixo de automação. Cada um dos módulos foi adaptado para as necessidades reais da empresa e para o estado atual da organização operacional.

4.1 A Empresa

Para começar é feita uma breve apresentação da empresa para conhecer as características mais importantes.

A Olsen S/A é uma empresa manufatureira do setor de equipamentos odonto-médicos que exporta atualmente para mais de 80 países, e é reconhecida no setor há 26 anos.

Encontra-se localizada no Distrito Industrial do município de Palhoça, estado de Santa Catarina. Conta com 187 funcionários, dos quais 138 pertencem ao chão-de-fábrica e o restante às áreas administrativas. É uma empresa com uma estrutura bastante horizontal, de quatro níveis hierárquicos: diretor geral, diretores operacionais, supervisores e operadores.

O seu produto principal é a cadeira odontológica, mas também são fabricantes de cadeiras médicas em uma proporção 90%/10% respectivamente, incluindo cadeiras (ginecológicas, cirúrgicas, laboratoriais, de hemodiálise e radiológicas,). A variedade dos produtos está em torno de 5000 possibilidades diferentes com pequenas modificações.

Os seus principais clientes estão distribuídos da seguinte maneira: 55% externo (82 países) e 45% mercado nacional e vai direto para o distribuidor no total são 60 distribuidores no país.

A capacidade nominal é para 1000 equipamentos produzidos por mês e no ponto de início do estudo de caso estava com 520 equipamentos produzidos, quer dizer 50% da capacidade.

A Olsen S/A é uma empresa com uma iniciativa muito forte, voltada para melhoria contínua, e prova disso são as suas certificações e habilitações, dentre elas: ISO 9000 versão 2000, certificação para CE (Comunidade Européia), INMETRO, Boas Práticas de Manufatura da ANVISA, iniciativas relacionadas com o Meio Ambiente como: coleta seletiva, produtos reutilizáveis, segurança no trabalho, em parceria com o SESI o SENAI, programa cinco S's funcionando e sendo avaliado uma vez por mês.

A respeito da tecnologia de informação a empresa possui e utiliza ferramentas CAD, *Intranet*, e sistemas ERP e MRP em processo de implementação. Os equipamentos têm aproximadamente cinco anos de operação, entre eles encontram-se: tornos mecânicos e CNC, soldagem, cabine de pintura, máquina *vacuum forming*, de conformação de plásticos.

A metodologia a ser empregada no estudo de caso, e o restante das características da empresa que possam vir a ser relevantes, são expostas ao longo do desenvolvimento da aplicação do modelo.

4.2 Metodologia

A metodologia aplicada no estudo de caso é descrita nesta seção. Os primeiros contatos com a empresa foram no contexto do desenvolvimento de um modelo de diagnóstico rápido para medição de desempenho que está em fase de conclusão por um doutorando do GRUCON³².

O estudo de caso é tanto quantitativo como qualitativo como aparece na Figura 4-1 e para a aplicação do modelo foram utilizadas as seguintes técnicas: entrevistas formais, questionários, percorridos no chão-de-fábrica, coleta de dados, treinamentos oferecidos para os envolvidos sobre as ferramentas próprias do modelo, reuniões de trabalho, *brainstorming* e reuniões de consenso.

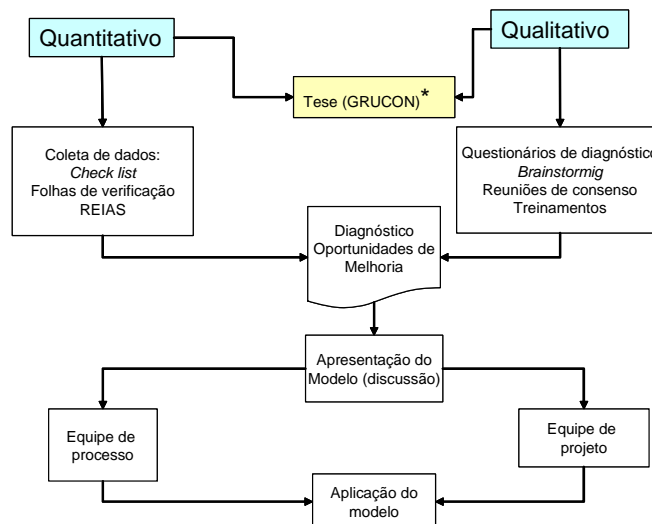


Figura 4-1 Metodologia para Estudo de Caso.

O primeiro passo foi a o diagnóstico, cujos resultados foram obtidos através do modelo de diagnóstico rápido³³ que por sua vez realizou questionários por etapas com diferentes representantes de cada uma das áreas-chave fornecidas pela gerência da empresa.

³² Grupo de Comando Numérico, departamento de Engenharia Mecânica. Tese em andamento pelo MSc Adrian Lucero.

³³ Modelo de Diagnóstico Rápido próprio da tese em andamento: Um Método para Desenvolvimento de Medidas de Desempenho como Suporte à Gestão Operacional do Processo de Manufatura.

Tendo como ponto de partida o resultado do diagnóstico e a iniciativa da empresa para estabelecer melhoria das operações que se mostraram fracas no resultado do diagnóstico, começou-se a aplicação do modelo adaptando as ferramentas a cada caso.

Junto com a gerência industrial foi reavaliado o grupo de melhoria contínua; para fins da aplicação do modelo e para tal foi necessário escolher uma equipe multifuncional, com pessoas dos departamentos de: *marketing*, processo, projeto de produto, programação da produção, qualidade, inspeção, e compras.

O modelo foi inicialmente apresentado detalhadamente e discutida a viabilidade da aplicação de cada uma das ferramentas, depois começou-se a aplicação da sequência proposta no modelo e em paralelo foram oferecidos os treinos necessários para tal aplicação.

O processo de aplicação do modelo foi apoiado pelas ferramentas do *software*, o manual de procedimentos e o material escrito (apostilas) entregue à equipe para manter a funcionalidade dos procedimentos.

Atendendo um dos objetivos da dissertação o modelo foi testado tanto na fase de projeto como no processo produtivo, assim, as ferramentas foram divididas por área e pessoas adicionais à equipe *kaizen* foram envolvidas, tanto para levantamento de dados como para divulgação de metas e resultados.

4.3 Diagnóstico

Embora o modelo não inclua um diagnóstico propriamente dito, ele inclui métricas e questionários que geram resultados para um diagnóstico. Na primeira etapa de diagnóstico foi estudado cada um dos objetivos da qualidade através de comparação do desempenho da empresa com respeito ao nível máximo de desempenho que pode ser obtido. A Figura 4-2 mostra o resultado em forma de gráfico radar, nela pode ser observado que o objetivo custo é o que apresenta o melhor desempenho, seguido da qualidade, e o que apresenta o pior desempenho é a flexibilidade. Esses dados foram obtidos através de questionários nos quais as pessoas envolvidas avaliavam numericamente e por tópicos cada um dos objetivos da qualidade.

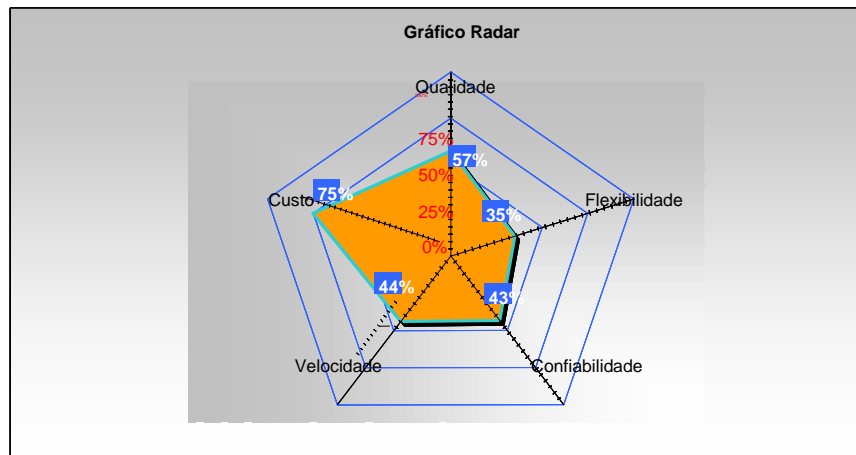


Figura 4-2 Resultado do Diagnóstico dos Objetivos da Qualidade.

O resultado do diagnóstico revela oportunidades de melhoria nas áreas de flexibilidade, confiabilidade, velocidade e qualidade respectivamente.

A partir do diagnóstico também foram detectadas as áreas críticas para aplicação do modelo. No escopo do trabalho de medição de desempenho foram estabelecidos alguns indicadores de medição e os indicadores próprios da qualidade foram a informação base para começar a aplicação do modelo. Como foi explicado no capítulo anterior, a sequência de aplicação do modelo pode começar em qualquer um dos módulos onde seja detectada alguma anomalia.

Toda a análise foi feita em cima do processo produtivo da cadeira odontológica tipo Siena, por ser este o produto ganhador de pedidos.

4.4 Aplicação do Modelo

Ao longo desta seção são apresentados os resultados obtidos através da aplicação do modelo e na medida em que os resultados são apresentados também são mostradas as ferramentas próprias do software desenvolvido em *Excel/Visual Basic®* e cujo menu principal aparece na Figura 4-3.

Cada uma das ilustrações é um *link* com conexões entre as planilhas correspondentes às ferramentas de aplicação.

Nem todas as ferramentas do modelo foram aplicadas na empresa devido a inviabilidade por tempo ou recursos. Todas elas foram discutidas com a gerência, inclusive o recurso humano que poderia acompanhar a aplicação. Mesmo assim, as cinco etapas do ciclo DMAIC foram abrangidas na aplicação, e um relatório completo de sugestões foi entregue à empresa.

Nas três seções seguintes aparecem dados e fatos de cada um dos modelos, explicando o estado atual da empresa e os resultados obtidos.

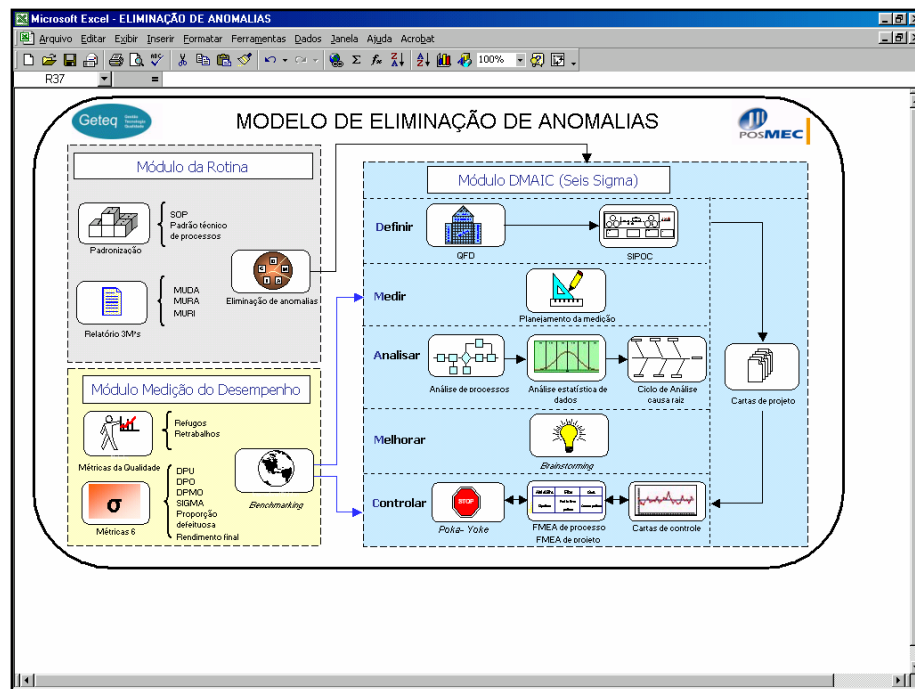


Figura 4-3 Menu Principal do *Software* de Eliminação de Anomalias.

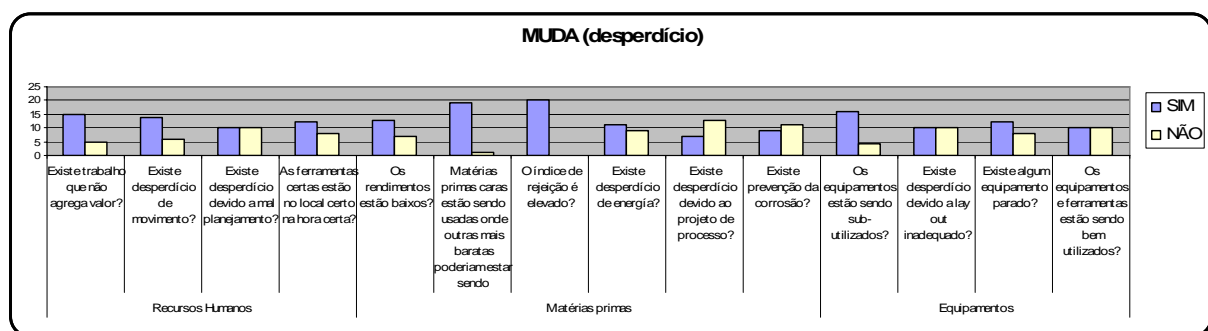
4.4.1 Módulo da Rotina do Dia-a-dia

Em relação à padronização a empresa conta com padrões técnicos de processo, só nas áreas consideradas críticas, isto é, na usinagem e soldagem. No restante das operações os colaboradores são munidos de um desenho da montagem da cadeira enfatizando as tarefas básicas de cada área.

Os padrões existentes não têm supervisão para o seu cumprimento, devido à flexibilidade da produção da fábrica, mas operários novos são treinados por operários mais experientes baseando-se nos padrões existentes.

De acordo com os parâmetros estabelecidos no modelo, as melhorias obtidas através do ciclo, se demonstrarem ser efetivas e viáveis devem ser padronizadas e divulgadas para todos os envolvidos na operação. Assim, as melhorias feitas na operação de inspeção foram relatadas em um procedimento operacional padrão, e um padrão técnico de processos.

Na fase de diagnóstico foi aplicado um questionário denominado Técnica 3 M's (APÊNDICE II) que está dividido em três seções sendo elas: desperdício (MUDA), inconsistência (MURA) e insuficiência (MURI), e em cada uma das categorias avalia aspectos diferentes como recursos humanos, matérias-primas e equipamentos através de perguntas dicotômicas. O questionário foi preenchido por pessoas de diferentes áreas: qualidade, processos, várias operações de chão-de-fábrica, compras, e supervisão, um total de 20 pessoas. Os resultados obtidos são apresentados a seguir.



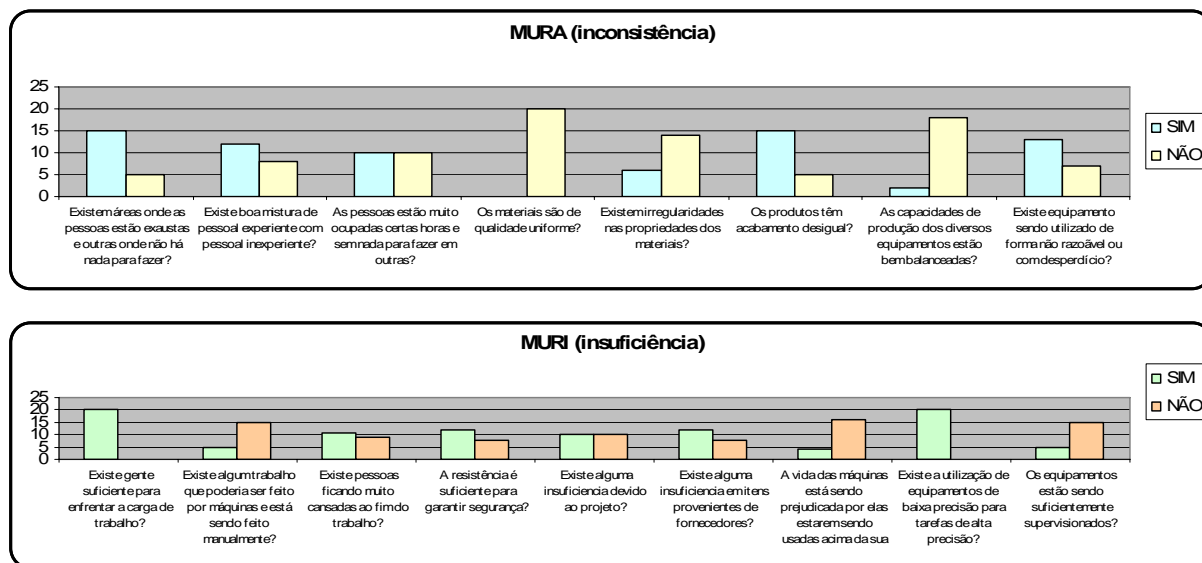


Figura 4-4 Resultados do Questionário 3 M's.

De acordo com os resultados obtidos na Figura 4-4 pode-se observar que:

O índice de rejeição é considerado elevado pelos envolvidos no processo, que existem movimentos que não agregam valor e que existem equipamento que estão sendo subutilizados. Por outra parte, a economia de energia é uma fortaleza.

Ao observar os resultados da inconsistência, pode-se perceber que a qualidade dos materiais não é uniforme e que a capacidade dos equipamentos não é balanceada. Mas também se percebe que a força de trabalho está equilibrada.

Enquanto à insuficiência, a anomalia mais relevante é que equipamentos de baixa precisão estão sendo utilizados para tarefas que precisariam de maior sensibilidade. Também pode-se concluir que existem anomalias proveniente do material dos fornecedores, e corrobora-se que a força de trabalho está equilibrada, e é suficiente para atender as necessidades do processo produtivo.

A parte correspondente a eliminação de anomalias será desenvolvida no módulo DMAIC.

4.4.2 Módulo de Medição do Desempenho

Em relação à medição do desempenho das operações, a empresa possui indicadores próprios da qualidade dos produtos tais como refugos e retrabalhos, e estão estratificados por operação, o que por sua vez permite fazer o *benchmarking* interno. Esses indicadores são atualizados com frequência semanal, e um exemplo do indicador aparece na Figura 4-5.

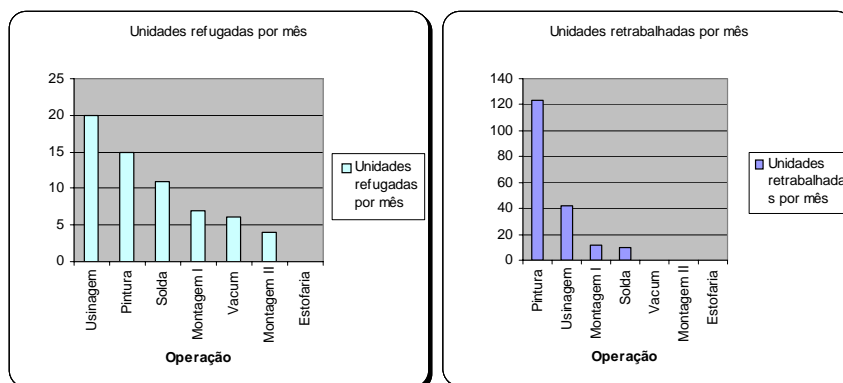


Figura 4-5 Métricas da Qualidade.

Com os diagramas de Pareto das métricas da qualidade nota-se que a operação com melhor nível de desempenho nesses dois indicadores é a estofaria, então um gráfico como aquele que aparece na Figura 4-6 mostra o *benchmarking* interno das operações.

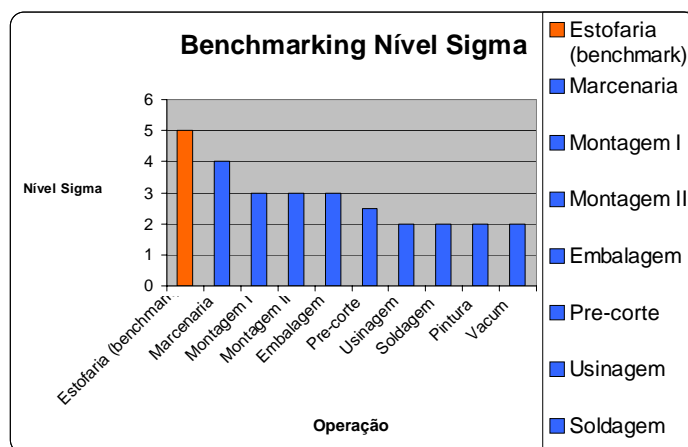


Figura 4-6 Benchmarking Interno.

Ao longo do desenvolvimento do trabalho foi levantada uma planilha de contagem de defeitos por milhão de oportunidades como aparece na Figura 4-7. Produto dessa contagem foi obtido o DPMO e assim foi possível calcular o nível sigma da operação. A partir do DPMO foi possível levantar o restante das métricas Seis Sigma com auxílio do *software* como é mostrado na Tabela 4-1.

The figure displays three overlapping Excel spreadsheets, all titled "ELIMINAÇÃO DE ANOMALIAS", which are used for tracking defects and opportunities. Each spreadsheet has a similar structure with columns for Part, Material, Peça, Quantidade, Oportunidade, Causas, Número de Oportunidades, and Número de Defeitos por lote.

Spreadsheet 1 (Left): Focuses on the "Cadeira" (Chair) component. It lists parts like "Cabeça", "Braço", "Suporte do encosto", and "Suporte do encosto".

Spreadsheet 2 (Middle): Focuses on the "Refletor" (Reflector) component. It lists parts like "Base do cabeçote", "Chapa do vacuum", "Articulador", "Artesão da Lâmpada", "Tubo", and "Lâmpada".

Spreadsheet 3 (Right): Focuses on the "Equipos" (Equipment) component. It lists parts like "Cabeçote", "Braço", "Suporte do encosto", "Suporte do encosto", "Banco", "Braço", "Placa", "Fio", "Motor", "Microprocessador", and "Fio".

Spreadsheet 4 (Bottom): Focuses on the "Unidade de Água" (Water Unit) component. It lists parts like "Cabeçote", "Braço", "Suporte do encosto", "Suporte do encosto", "Banco", "Braço", "Placa", "Fio", "Motor", "Microprocessador", and "Fio".

Spreadsheet 5 (Bottom): Focuses on the "Kart" component. It lists parts like "Cabeçote", "Braço", "Suporte do encosto", "Suporte do encosto", "Banco", "Braço", "Placa", "Fio", "Motor", "Microprocessador", and "Fio".

Spreadsheet 6 (Bottom): Focuses on the "Negatoscópio" (X-ray) component. It lists parts like "Cabeçote", "Braço", "Suporte do encosto", "Suporte do encosto", "Banco", "Braço", "Placa", "Fio", "Motor", "Microprocessador", and "Fio".

Spreadsheet 7 (Bottom): Focuses on the "Pedal" component. It lists parts like "Cabeçote", "Braço", "Suporte do encosto", "Suporte do encosto", "Banco", "Braço", "Placa", "Fio", "Motor", "Microprocessador", and "Fio".

Figura 4-7 Formulário de Contagem de Defeitos e Oportunidades.

Para a obtenção das oportunidades de defeitos foi separada a cadeira odontológica em suas partes componentes: cadeira, refletor, equipo acoplado, unidade de água, kart, negatoscópio e pedal. Ver Figura 4-8.

Cada uma das partes analisou-se por material, isto é, plásticos, metais, eletrônicos, adesivos e motores. Após essa divisão foi identificado o número de unidades e as peças que podiam ser classificadas em cada categoria de material e com ajuda das pessoas de inspeção da qualidade verificou-se de que maneira podia acontecer um defeito e as causas que já estão identificadas.

Levando em conta a quantidade de peças foi calculado número de oportunidades de defeito, para finalmente realizar a contagem de defeitos por categoria.



Figura 4-8 Cadeira Odontológica para Estudo de Caso.

Como resultado desta etapa foi obtido um valor de 173 e as métricas Seis Sigma que estão resumidas na Tabela 4-1. Vale aclarar que esses dados são válidos para o processo produtivo do modelo de cadeira Siena.

Tabela 4-1 Métricas Seis Sigma.

Número de unidades	Unidades defeituosas	Defeitos	Oportunidades	DPU	Proporção defeituosa	Y final	DPO	DPMO	Sigma
25	16	154	173	6,16	0,092486	0,907514	0,035607	35606,94	3,3

4.4.3 Módulo DMAIC

Com relação ao módulo central do modelo, o módulo DMAIC, antes de mais nada foi feito um levantamento do procedimento geral utilizado pela empresa para eliminar as anomalias do processo produtivo. A empresa possui um documento denominado relatório de estudo de implementações e alterações (REIA) que é aberto cada vez que uma anomalia acontecer. No

documento consta o relatório dos fatos, data, responsável, ações a tomar e no final aparece um quadro que relata se a anomalia foi eliminada e o processo é fechado caso positivo. Caso negativo o documento fica aberto até ser resolvido. A geração de idéias é feita de maneira informal e a empresa tem política de ação, assim, as implementações são feitas no momento em que as idéias aparecem, a ensaio e erro.

Após conhecer o procedimento estabelecido por eles, foi apresentado o modelo de eliminação de anomalias como alternativa junto com o diagnóstico e o resultado obtido no módulo de medição de desempenho. Em primeira instância foi discutida com a gerência industrial a viabilidade das ferramentas, chegando-se à conclusão de aplicar os cinco passos do módulo DMAIC. Contudo, nem todas as ferramentas propostas foram consideradas viáveis visto que a empresa não conta com a informação suficiente para desenvolver satisfatoriamente a ferramenta.

A seguir é apresentado o procedimento e resultados obtidos na área de projeto, e no fim deste capítulo é relatado o acontecido na área de processo.

4.4.3.1 Projeto Seis Sigma para Fase de Projeto

Na área de projeto, concentrou-se o trabalho na anomalia que ocorre na intensidade da luminosidade e a concentricidade do foco do refeltor "*concept*" que faz parte da cadeira odontológica modelo Siena. Na Figura 4-9 aparecem os detalhes da carta que compreende a declaração da anomalia, passando por todas as etapas até chegar na declaração da solução.

Declaração do Problema	
<i>O refletor "concept" da cadeira modelo Siena apresenta problema na concentração da luminosidade e centrado do foco; isto gera uma não-conformidade com as especificações técnicas exigidas pela Comunidade Européia ocasionando transtornos na exportação do produto e colocando o produto sob ameaça de cancelação da exportação caso o defeito não seja corrigido dentro do prazo.</i>	
Declaração de Meta	
<i>Corrigir completamente o defeito na concentração de luminosidade e posição do foco e garantir o cumprimento das especificações através de um sistema de medição capaz de detectar os limites permitidos.</i>	
Limitações	
<i>Um especialista da área de projeto dedicará a seu tempo completo a corrigir o problema técnico e a criar o sistema de medição que permita garantir o cumprimento da especificação.</i>	
Suposições	
<i>O foco da equipe estará em reprojetar o produto e nenhuma sugestão será rejeitada para a criação do sistema de medição.</i>	
Diretrizes da equipe	
<i>A equipe se reunirá as pessoas idôneas na matéria e um membro da equipe ficará como responsável pelos resultados obtidos após o processo de melhoria do projeto.</i>	
Membros da equipe	
<i>João Claudio Fernando Jones</i>	
Plano preliminar de Projeto	
Definir:	<i>11 Outubro de 2005</i>
Medir:	<i>17 Outubro de 2005</i>
Analisar:	<i>03 Novembro de 2005</i>
Melhorar:	<i>04 Janeiro de 2006</i>
Controlar	<i>Fevereiro de 2006</i>
Declaração da Solução	
<i>Criação de um sistema de medição que consiga medir a posição centrada do foco e a intensidade da luminosidade. Os testes serão feitos em uma sala escura apta para o tipo de ensaio.</i>	

Figura 4-9 Carta de Projeto Preparada para o Refletor “Concept”.

Visto que a empresa não tinha levantamento de FMEA, foi feito em paralelo com o treinamento um levantamento de FMEA tanto de projeto quanto de processo. Na Tabela 4-2 aparece a FMEA de projeto, e como resultado dela foi obtido um NPR de 810, o que confirma a prioridade de encontrar resposta a tal anomalia.

A equipe de projeto colocou o refletor *concept* cuja concentração de luminosidade e concentricidade do foco encontra-se fora das especificações técnicas exigidas pela comunidade Européia (CE) como sendo a principal anomalia a ser resolvida.

As ferramentas de análise foram aplicadas, e neste caso, o *brainstorming* mostrou-se a ferramenta mais poderosa para gerar idéias, embora o FMEA tenha sido fonte inicial de idéias.

(FMEA DE PROJETO)

☐ Sistema
☒ Subsistema
 Componente Refletor
 Modelo Concept
 Equipe: João, Fernando, Claudio, Jones

Responsável pelo projeto João
 Data Chave Fevereiro 2006

FMEA Número 01
 Pág 1 de 1
 Preparado por Fernando
 Data FMEA (início) 29/12/05 (revisão) 02/2005

Item Função	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Severidade	Classificação	Causa(s) e Mecanismo(s) Potenciais da Falha	Ocorrência	Controles Atuais do Projeto	Detecção	NPR	Ações Recomendadas	Responsável e Prazo	Resultado das Ações			
												Ações Tomadas	Severidade	Ocorrência	Detecção
Refletor Concentra- ção da luminosidade	Foco fora da especificação	* Cansaço excesivo * Perda de aceitação por legislação em outros países * Perda da qualidade de visibilidade do dentista no paciente.	9		* Forma, ângulo, e lâmpada do defletor. * Curvatura do espelho. * Material * Acabamento * Superfície	10	* Controle tipo 3 * Levantamento de solução para medir luminosidade * Venda do equipamento com nota aclaratória.	9	810	* Sistema de medição, constru- ção e implementa- ção.	João Carlos Janeiro 2006				

Tabela 4-2 FMEA de Projeto.

A causa-raiz da anomalia do projeto foi assinalada pela equipe como sendo um projeto pouco robusto. Como resposta do ciclo DMAIC, optou-se por criar um dispositivo capaz de medir tanto a intensidade de luminosidade como a concentricidade do foco. O prazo foi cumprido, e o dispositivo encontra-se funcionando atualmente. Em paralelo foi planejada a medição, e disposto uma sala escura preparada para o teste. A inspeção é feita 100%, para garantir o cumprimento das especificações da CE. O dispositivo aparece na Figura 4-10.



Figura 4-10 Dispositivo Foto-Calibrador.

O objetivo do dispositivo é orientar ao montador do refletor na hora de ajustar o foco. Além disso, foi adquirido um foto-detector para verificar a intensidade da luminosidade. O teste é feito na inspeção final, e na Figura 4-11 pode-se observar um teste em andamento.



Figura 4-11 Sala de Teste do Refletor e Foto-Detector.

Este resultado não teve impacto na contagem de defeitos final, já que a anomalia do foco não era considerada como sendo um defeito até que a CE colocou reclamação ao respeito disso. Além disso refletores não são rejeitados se não estiverem dentro da especificação, eles são ajustados até que o foco e a concentricidade estejam dentro da norma.

Na etapa final da aplicação do modelo na fase de projeto, o teste foi estabelecido utilizando o foto-detector e o foto-calibrador, já que a sala especial para tal foi disponibilizada e melhorada. O teste consiste na verificação da intensidade de luminosidade e na concentricidade do foco e o procedimento foi padronizado. Embora a oportunidade de melhoria fora detectada na fase de projeto, a solução colocada para a anomalia aplica-se na fase de projeto, acrescentando uma operação de inspeção no processo produtivo.

Em paralelo ao desenvolvimento do projeto Seis Sigma do refletor *concept*, foi se desenvolvendo o projeto Seis Sigma referente ao processo produtivo. A metodologia foi similar ao caso anterior, e os resultados são apresentados na seção subsequente.

4.4.3.2 Projeto Seis Sigma para Fase de Processo

A origem do projeto Seis Sigma de processo encontra-se no alto número de peças com defeito que entram no sistema produtivo. O passo inicial foi o levantamento do diagrama SIPOC, que auxilia na identificação das principais operações do processo, assim como os fornecedores, que para este caso especial têm relevância. O diagrama aparece ilustrado na Figura 4-12.

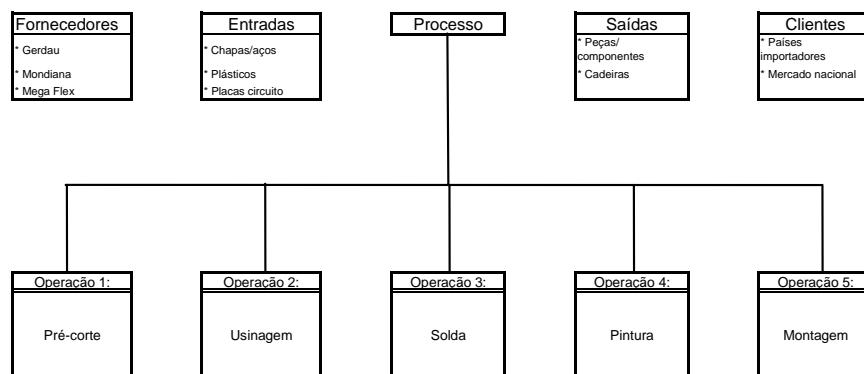


Figura 4-12 Diagrama SIPOC para Inspeção de Matéria-Prima.

Com o objetivo de entender melhor o sistema produtivo foi levantado o fluxograma do mesmo, identificando as áreas críticas tal e como aparece na Figura 4-13. Outra fonte inicial de informações foi o diagnóstico realizado para indicadores de desempenho durante o qual, reuniões de consenso e *brainstorming* foram realizadas, deixando vislumbrar as anomalias que causavam o maior impacto nas saídas do processo produtivo. Já nessa fase foi detectado que existia um problema com os fornecedores, não só pela qualidade do material em termos de padronização, mas também nos prazos de entrega.

Como resultado do fluxograma de processos obteve-se várias oportunidades de melhoria ou anomalias, as quais foram priorizadas pela equipe. A primeira operação que foi colocada como sendo de alto impacto foi a inspeção de materiais na entrada do processo. Embora existam outros pontos do processo nos quais poderia se aplicar o modelo de eliminação de anomalias, a equipe estabeleceu como prioridade a operação de inspeção, visto que a maioria dos problemas que se apresentam em etapas posteriores do processo, são causados pelas anomalias ocorridas na inspeção.

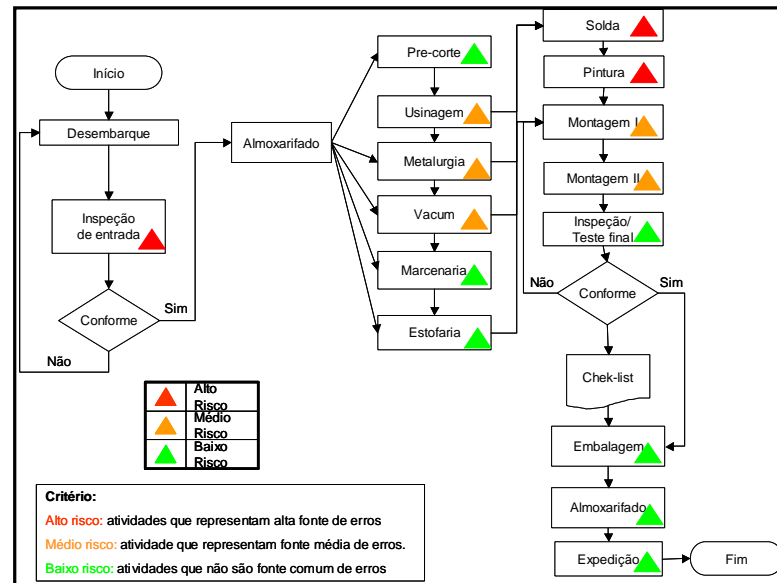


Figura 4-13 Diagrama de Processo de Fabricação da Cadeira Tipo Siena.

Este fluxograma é pré-requisito do FMEA. Uma das atividades críticas é a inspeção de matéria-prima e para ela foi levantado o FMEA de processo. O resultado obtido aparece ilustrado na Tabela 4-3. No desenvolvimento da ferramenta foi realizado também um *brainstorming*, chamando o responsável pela operação de inspeção para detectar as necessidades e os problemas que estão se apresentando com essa operação.

Tabela 4-3 FMEA de Processo

ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHA POTENCIAL (FMEA DE PROCESSO)															
Item <u>Inspecção de matéria prima</u>			Responsável pelo processo <u>Marco</u>			FMEA Número 01			Pág_1_de_1						
Modelo _____			Data Chave 29/11/05												
Equipe _____			Preparado por <u>Equipe de processo</u>												
											Resultado das ações				
Função do processo Requisitos	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potencial(is) da falha	Severidade	Classificação	Causa(s) e Mecanismo(s) Potenciais da Falha	Ocorrência	Controles Atuais do Processo	Detecção	NPR	Ações Recomendadas	Responsável e Prazo	Ações Tomadas	Severidade	Ocorrência	Detecção
Inspecção de matéria prima. Requisito: Garantir que o material que entra no processo esteja dentro dos requisitos de qualidade.	* Entrada de material com defeito no processo	* Retrabalho de peças * Devolução de material * Atraso na produção.	8		* Falta de instrumento de medição. * Espaço inadequado. * Amostragem inadequada. * Inspecção visual. * Programação da produção com atraso. * Número de inspetores insuficiente. * Falta de atualização no procedimento de inspecção. * Falta de plano de inspecção. * Sistema de classificação não funcionando. * Entrada de produto novo	8	* Modificação do plano * Cópia do desenho * Atualização na classificação	8	512	* Instrumentos adequados. * Plano de inspecção. Dispositivos de teste. * Aumento de inspetores. * Padronização do procedimento * Treinamento * Espaço adequado * Reformular a lista de fornecedores. * Ter fornecedores de resguardo. * Melhorar relacionamento com fornecedores * Fórum de fornecedores. * Visitas às fabricas fornecedoras * Leque	Uilians/ Denver Fevereiro 2006				

Na etapa de análise foi levantado o diagrama causa-efeito em consenso com a equipe e as causas obtidas são apresentadas na Figura 4-14

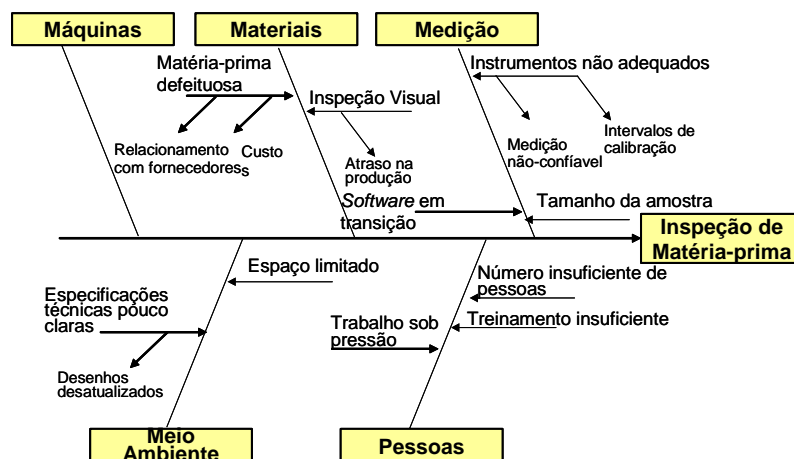


Figura 4-14 Diagrama Causa-Efeito para Inspecção de Matéria-Prima.

Embora as causas apresentadas no diagrama sejam várias, duas delas resultaram ser possíveis causas-raiz, produto da análise do processo. A primeira é a matéria-prima cuja causa principal é o fornecedor. A segunda é a medição, sendo que a causa principal é o instrumento inadequado.

Essa primeira fase é resultado da análise do processo. O passo seguinte é a análise de dados, e para tal foram levantadas cartas de controle de uma peça particular, o articulador *flex* para braço secundário que está ilustrado na Figura 4-15. Esta peça é fabricada na Olsen, mas apresenta problemas na inspeção e por tal motivo foi alvo de estudo, sendo a operação que a produz um fornecedor da operação montagem.



Figura 4-15 Articulador *Flex* para Braço Secundário.

A empresa não conta com gráficos de controle, para tal efeito foi realizado um treinamento de CEP e levantadas algumas cartas de controle para os processos por eles considerados como críticos. O articulador *flex* mesmo sendo medido e controlado passa para processos posteriores (pintura e montagem) com defeito, e às vezes é detectado só na montagem final do produto o que ocasiona novamente desperdícios, sendo o mais crítico o atraso na entrega.

A carta de médias e amplitudes para o articulador do braço *flex* aparece na Figura 4-16. Baseado no gráfico o processo está sob controle aparente, mas mostra uma tendência. Embora as medições indiquem que o processo encontra-se sob controle, peças que passam para processos posteriores apresentam defeitos. Fazendo uma análise dos dados coletados, parece que as medições são não-confiáveis, ou pode haver um problema de capacidade de processo.

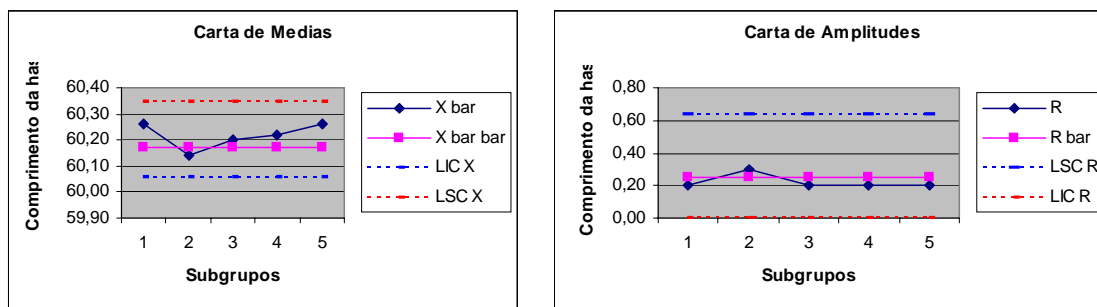


Figura 4-16 Carta de Médias e Amplitudes para Comprimento da Haste do Articulator *Flex* para Braço Secundário.

Neste caso é recomendável fazer uma avaliação da medição através de um estudo de repetitividade e reprodutibilidade (R&R) para ter conhecimento sobre os resultados de medições feitos por diferentes operadores. A empresa trabalha com um único turno, e uma única pessoa é responsável pela medição desta peça particular, mas foram adicionadas duas pessoas para efeitos da coleta dos dados em cima de cinco peças numeradas e medidas uma vez por cada operador em ordem aleatória. Uma planilha de cálculo propriedade da fundação CERTI foi empregada para o estudo R&R obtendo os resultados que aparecem na Tabela 4-4.

Tabela 4-4 Resultados do Estudo R&R para Articulator *Flex*.

Grandeza: comprimento da haste: 60±0,30 mm					
Análise de dados		Análise da grandeza de medição		Análise da variação do processo	
X bar bar	60,211	VE	0,0748	% VE	19,03%
R	0,0444	VA	0,0149	% VA	19,03%
R bar bar	0,1262	R&R	0,0763	% R&R	97,35%
X _{diff}	0,3266	VP	0,0179	% VP	22,85%
UCL	0,3266	VT	0,0784		

O sistema de medição não pode ser utilizado.

Fonte: os dados foram obtidos através de medição no processo e o processamento de dados foi feito utilizando uma planilha de cálculo R&R por variáveis da fundação CERTI.

De acordo com o resultado obtido no estudo, o sistema de medição é reprovado visto que o R&R obtido é superior a 30%. O estudo realizado também mostra resultados da variação do equipamento, do avaliador e da peça.

A amostragem é feita dependendo do tamanho do lote que entra no processo, são inspecionadas 20% das peças. Os dados são coletados em formulários de registro de inspeção, e ficam arquivados. Após o treinamento, algumas cartas de controle estão sendo levantadas, mas as inconsistências nos procedimentos de medição continuam aparecendo.

A carta de projeto foi levantada com o resumo das atividades, sugestões e a declaração da solução no prazo em que foi concluída a dissertação não tenha se chegado à etapa de implementação. A carta aparece na Figura 4-17.

Declaração do Problema	
<i>A inspeção de matéria-prima não está sendo realizada com resultados satisfatórios. Matéria-prima com defeito está entrando no processo produtivo causando atrasos, desperdício em termos de devolução, refugos e retrabalhos. Os defeitos não atingiram o cliente em grande escala, mas estão gerando altos custos em matéria de perda de material.</i>	
<i>Esta anomalia está ocasionando um efeito dominó, está passando peças com defeito no processo, as quais devem ser retrabalhadas, e o retrabalho por sua vez ocasiona atrasos adicionais aos que já existem desde a entrega do material, e a anomalia é tão severa que já resultou em horas extra de trabalho.</i>	
Declaração de Meta	
<i>Reformular completamente a operação de inspeção, incluindo o espaço disposto para tal, os instrumentos de medição, a apresentação das especificações técnicas das peças, e a cadeia de suprimentos. Espera-se obter após isso uma redução considerável de refugos e retrabalhos, e como consequência redução dos defeitos no produto final.</i>	
Limitações	
<i>A empresa está atravessando por um período de transição devido à implementação de software ERP, por tal motivo as especificações técnicas e o sistema de classificação não são robustos. O espaço físico também é limitado e os instrumentos de medição não possuem a resolução adequada para realizar as medições de algumas peças.</i>	
Suposições	
<i>Pessoas de compras, planejamento da produção, produção e qualidade devem atuar em equipe para fornecer idéias e estabelecer responsabilidades</i>	
Diretrizes da equipe	
<i>A equipe reunirá as pessoas idôneas na matéria e um membro da equipe ficará como responsável pelos resultados obtidos após o processo de melhoria da operação de inspeção.</i>	
Membros da equipe	
<i>Uilians, Celso, Gisele, Ronaldo, Kleydson, Rony, Marcos.</i>	
Plano preliminar de Projeto	
Definir:	<i>Outubro de 2005</i>
Medir:	<i>Outubro de 2005</i>
Analisar:	<i>Novembro de 2005</i>
Melhorar:	<i>Janeiro de 2006</i>
Controlar	<i>Março de 2006</i>
Declaração da Solução	
<i>Criação de um novo plano de inspeção que esteja atualizado. Incluir uma pessoa adicional na operação de inspeção. Reavaliar o relacionamento com fornecedores. Adquisição de instrumentos de medição adequados aos requerimentos da qualidade.</i>	

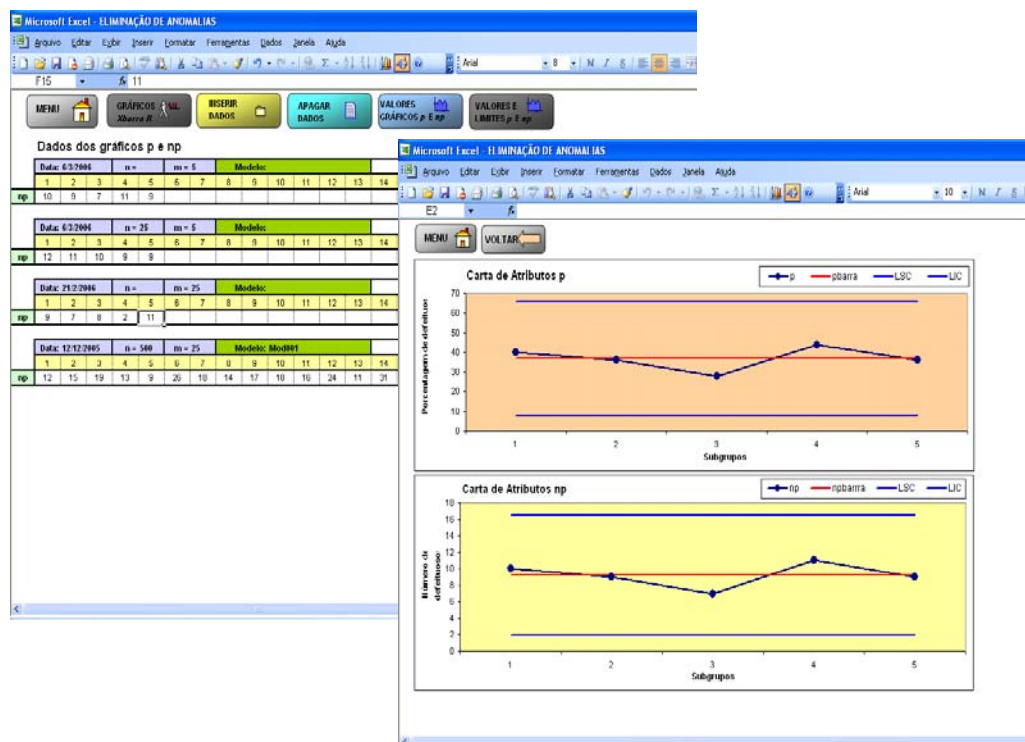
Figura 4-17 Carta de Projeto para Fase de Processo.

O projeto Seis Sigma para a fase de processo não atingiu a etapa de controle por questão de prazo, mas até esta etapa poucas ações foram tomadas a respeito, uma delas foi a mudança na apresentação das especificações técnicas das peças. O projeto foi definido como sendo de curto prazo, mas as implementações estão mostrando que é um projeto a longo prazo. Mesmo assim, foi detectada uma leve redução de defeitos nos produtos finais e como consequência a melhoria do nível sigma da operação como pode ser observado na Tabela 4-5.

Tabela 4-5 Comparação do Nível Sigma Após Aplicação do Modelo.

Número de unidades	Unidades defeituosas	Defeitos	Oportunidades	DPU	Proporção defeituosa	Y final	DPO	DPMO	Sigma
25	16	154	173	6,16	0,092486	0,907514	0,035607	35606,94	3,3
25	11	123	173	4,92	0,063584	0,936416	0,028439	28439,31	3,4

Durante a inspeção também são controlados atributos, geralmente na inspeção do produto terminado, por tal motivo o software inclui cartas por atributos e estão ilustradas na Figura 4-18.

**Figura 4-18 Cartas por Atributos através do Software.**

Com isso o estudo de caso é finalizado. O passo final foi a avaliação do modelo por parte dos membros da equipe. O formulário de avaliação aparece no APÊNDICE III, e os resultados do mesmo são apresentados na seção seguinte.

4.5 Avaliação do Modelo

O modelo foi avaliado pelos membros da equipe kaizen que aplicaram as diferentes ferramentas. Essa avaliação foi realizada através de um questionário repassado para a equipe, que foi dividida em categorias e os resultados obtidos são apresentados na Figura 4-19, e cada uma será comentada de acordo com as considerações feitas em cada parte do questionário.

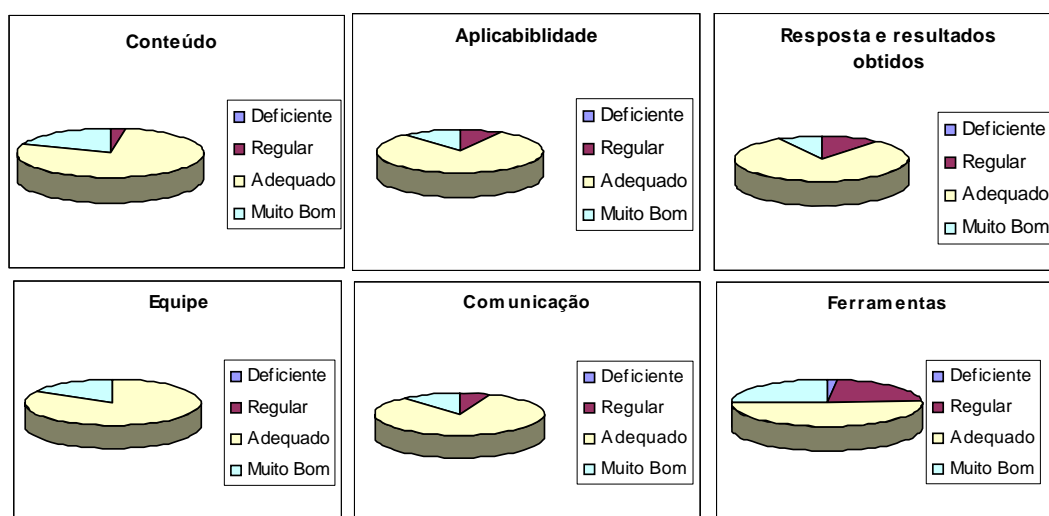


Figura 4-19 Resultados da Avaliação do Modelo.

Em termos gerais o modelo mostrou-se adequado. Um dos pontos fortes foi a abrangência do conteúdo e a formação da equipe *kaizen*. Algumas qualificações negativas foram recebidas a respeito das ferramentas, isso pode ser provocado por causa da complexidade das mesmas ou por deficiências no treinamento.

CAPÍTULO 5

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresenta as considerações finais, divididas em três seções. Na primeira é feita uma discussão sobre a avaliação do modelo, na segunda são apresentadas as conclusões e finalmente as sugestões para trabalhos futuros.

5.1 Discussão Referente ao Modelo

A aplicação do modelo elaborado não foi seguido estritamente na sequência proposta, pois algumas informações ou ferramentas não eram conhecidas pela empresa ou não foram ainda implementadas, por tal motivo foram realizados em paralelo alguns treinamentos e o desenvolvimento das mesmas.

As ferramentas do modelo que se mostraram mais eficientes para dar solução às anomalias que se apresentam nos processos foram: a análise causa-efeito, o *brainstorming*, o FMEA de projeto e de processo o diagrama causa-efeito e as cartas de controle.

Resultados mais concretos foram obtidos no projeto Seis Sigma na fase de projeto, devido a que a causa-raiz, isto é, um projeto pouco robusto, já era conhecida pela equipe, idéias e hipóteses já tinham sido levantadas antes da aplicação, então o desenvolvimento das etapas foi razoavelmente rápido e as respostas obtidas dentro dos prazos estabelecidos.

O projeto Seis Sigma na fase de processo foi definido como sendo projeto a médio prazo, mas a declaração da solução não foi concluída nesse prazo porque eliminar as anomalias significaria mudanças radicais no sistema produtivo, desde a avaliação do relacionamento com os fornecedores até o arranjo físico para proporcionar um espaço adequado para inspeção.

O *software* inclui outras aplicações como gráficos de dispersão, diagramas de Pareto, planilhas para cálculo das métricas Seis Sigma e algumas delas estão resumidas na Figura 5-1.

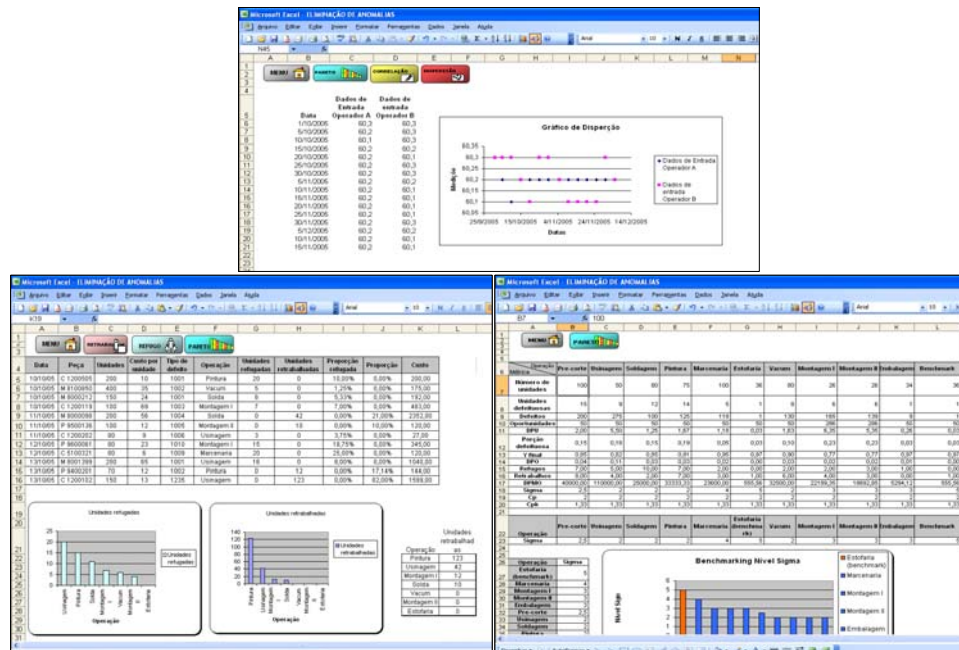


Figura 5-1 Outras Aplicações do Modelo.

5.2 Conclusões

O modelo proposto abrange tanto a detecção, a eliminação e prevenção de anomalias nos processos técnicos de manufatura da seguinte maneira: as anomalias podem ser detectadas em qualquer um dos módulos, através do relatório 3 M's, das métricas da qualidade, das métricas Seis Sigma, na análise do processo e nas ferramentas de controle como FMEA de processo e de projeto e as cartas de controle. As anomalias podem ser eliminadas aplicando o ciclo DMAIC e podem ser prevenidas através do FMEA de processo e de projeto, através da observação e manutenção de gráficos de controle de processo que fazem o com que o processo seja predecível. Outra ferramenta própria da prevenção de anomalias é o *poka-yoke* que se antecipa à ocorrência de anomalias, e a forma mais efetiva para prevenir a ocorrência de anomalias é a padronização, que estabelece procedimentos claros para desenvolver cada uma das tarefas evitando assim que a operação saia do funcionamento normal.

Embora o ciclo DMAIC não seja um procedimento rotineiro, foi possível conciliar as práticas da rotina do dia-a-dia com as atividades próprias do Seis Sigma. Isto foi feito inserindo na eliminação de anomalias o ciclo DMAIC, que após passar todas as suas etapas encontra uma solução que se eficaz, eficiente e viável, pode ser padronizada e se converte em uma tarefa da rotina do dia-a-dia.

Tanto a aplicação como a avaliação do modelo foram realizadas, sendo possível realizar a prática tanto na fase de projeto quanto na fase de processo. As ferramentas apresentadas inicialmente como contribuições desta dissertação foram concluídas, e justamente a aplicação das etapas foi realizada através do *software* como apoio.

O modelo mostrou-se mais eficiente na etapa de projeto do que na etapa de processo, e isso pode ser explicado porque a metodologia Seis Sigma foi inicialmente disposta para fase de projeto, já que a fase de processo é mais hostil. Pelo conteúdo da carta de projeto a anomalia estudada na fase de processo envolve outras operações e um número muito grande de pessoas. Mesmo assim o modelo mostrou-se adequado nas duas fases.

Embora o ciclo DMAIC tenha sido inicialmente orientado a empresas de serviço, foi possível constatar que é aplicável a empresas manufatureiras obtendo resultados relacionados à redução de defeitos, e que assim como as outras ferramentas da Metodologia Seis Sigma adapta-se com conforto no ambiente fabril.

5.3 Sugestões para Trabalhos Futuros

A estrutura do modelo comportaria a sua aplicação em uma cadeia de empresas com relacionamento próximo (fornecedor-cliente), para obter um índice de redução de anomalias em termos de defeitos, refugos, retrabalhos e reclamações do cliente podendo ser avaliado novamente em ambientes diferentes e verificando os benefícios para a cadeia de suprimentos.

O modelo foi aplicado para projetos a médio e curto prazo, dessa maneira poderia ser aplicado em projetos a longo prazo, que representem mudanças radicais dentro do sistema produtivo,

avaliando os resultados obtidos e acrescentando ferramentas que dêem suporte ao desenvolvimento do projeto.

O DOE é um dos pilares do ciclo DMAIC, porém não é fácil inseri-lo no contexto da manufatura por causa da sua complexidade. Em projetos futuros, processos com uma maior profundidade metrológica podem ser estudados através do modelo aplicando outras ferramentas próprias do DOE.

Embora o modelo tenha sido formulado para processos de manufatura, muitas das ferramentas aplicam-se a empresas de serviços nas quais poderia ser reavaliado.

Uma avaliação de custos ocasionados por defeitos dentro do processo ou defeitos que atingem ao cliente é uma boa contribuição em aplicações subseqüentes já que o modelo não inclui análise do índice de custos.

Um outro ambiente fabril com características similares e com maior complexidade metrológica poderia ser utilizado para aplicar o modelo na seqüência estrita que foi apresentada no capítulo três.

Sendo a Voz do Cliente uma ferramenta complexa que demanda uma quantidade maior de tempo, em uma próxima aplicação do modelo poderia ser empregada a matriz QDF com o objetivo de conhecer quais as falências do projeto ou do processo no referente à satisfação do cliente.

REFERÊNCIAS

- AIAG (Automotive Industry Action Group). **Measurement Systems Analysis (MSA)**. Third Edition, 2002, 127 p.
- APICS DICTIONARY: APICS, **American Production and Inventory Control Society**. The Association for Operations Management.: Eleventh Edition, USA, 2005, 125 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISSO 9000: **Sistemas de Gestão da Qualidade – Fundamentos e Vocabulário**. Rio de Janeiro, Dezembro de 2000 (a).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISSO 9004: **Sistemas de Gestão da Qualidade – Diretrizes para melhorias de Desempenho**. Rio de Janeiro, Dezembro de 2000 (b).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISSO 9001: **Sistemas de Gestão da Qualidade – Requisitos**. Rio de Janeiro, Dezembro de 2000 (c).
- BARNEY, M. **Motorola's Second Generation**: Six Sigma Forum Magazine, American Society for Quality, Vol 1, N° 3, Milwaukee, May de 2002. Available on <www.asq.org/pub/sixsigma/past/vol1_issue3/motorola.html> Accessed in August de 2005.
- BLAUTH, R. Seis Sigma: **Uma Estratégia Para Melhorar Resultados**. Revista FAE Business, N° 5, Abril p 36 –39. 2003.
- BLACK, J. **The Design of the Factory with a Future**: McGraw Hill, USA, 1991, 288p.
- BREYFOGLE, F; CUPELLO, J; MEADOWX, B. **Managing Six Sigma**. A practical guide to understandign, assessing and implementing the strategy that yields bottom-line sucess: John Wiley & Sons, USA, 2001. Available on <<http://print.google.com>>. Accessed on October, 2005.
- BREYFOGLE, F. **Implementing Six Sigma**: Smarter Solutions Using Statistical Methods: 2nd ed, Wyley, USA, 2003. Available on <<http://print.google.com>> Accessed on October, 2005.
- CAMPOS, V. **TQC: Gerenciamento da Rotina do Trabalho do dia-a-dia**: Belo Horizonte UFMG, Fundação Christiano Ottoni. Rio de Janeiro, 1994, 274 p.
- CAMPOS, V. **Qualidade Total: Padronização de Empresas**. 4ª Edição. Fundação Chistiano Ottoni, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1992, 124 p. (a)

- CAMPOS, V. **TQC, Controle da Qualidade Total: (No Estilo Japonês) Empresas**. 5ª Edição. Fundação Chistiano Ottoni, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1992, 229 p (b),
- DONATELLI, G. **Planejamento Avançado da Qualidade**: PósMCI, Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina. Apresentação de Slides, Florianópolis, 2001.
- ECKES, G. **El Six Sigma Para Todos**. Grupo Editorial Norma, Bogotá, 1954. 176 p.
- FERREIRA, E. **Método de Solução de Problemas “QC Story”**. Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica. Bahia, 2005.
- FRITZ, W. **A Dual Concept for Long-Term Success**. Six Sigma Forum Magazine: American Society for Quality. Vol 4 August 2005. Available on www.asq.org/pub/sixsigma/past/vol4_issue4/ssfmv4i4weigang.pdf , Accessed on September 2005.
- GARRIDO, A. **Seis Sigma**: Uma metodologia em Constante Evolução. Revista Banas Qualidade, Maio 2005.
- GUPTA, P. **Innovation: The key to a Successful Project**: Six Sigma Forum Magazine: American Society for Quality. Vol 4, August 2005. Available on www.asq.org/pub/sixsigma/past/vol4_issue4/ssfmv4i4gupta.pdf Accessed on September 2005.
- HARRY, M. **The Vision of Six Sigma**: A Roadmap for Breakthrough: Fourth Ed. Sigma Publishing Co. Arizona, USA, 1994,.
- IQA, Instituto da Qualidade Automotiva. **Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA)**, Manual de Referencia. Brasil, 1997.
- KAYDOS, W. **Operational Performance Measurement**: Increasing Total Productivity. St Lucie Press, USA, 1999, 245 p.
- KUME, H. **Métodos Estatísticos para Melhoria da Qualidade**: 11ª edição, Editora Gente, São Paulo, 1993, 245 p.
- LÉXICO LEAN, Glossário ilustrado para praticantes do Pensamento Lean: **Lean Enterprise Institute**, São Paulo, 2003, 97 p.
- LIKER, J. **The Toyota Way**: 14 Management ciles fron the World’s Greatest Manufacturer: Mc Graw-Hill, USA, 2004, 330 p.
- LUCERO, A. **Um Método para Desenvolvimento de Medidas de Desempenho como Suporte à Gestão Operacional do Processo de Manufatura**. Qualificação (Doutorado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

- LÜDKE, P. SCHNEIDER, C. **Avaliação de Processos de Medição no Contexto da Metodologia Seis Sigma em UMA Empresa Industrial**. Dissertação de Mestrado do Pós MCI, UFSC, Florianópolis, 2004.
- MIYOSHI, J. **Avaliação do Desempenho de Sistemas Logísticos através do Seis Sigma e do Balanced Scorecard**: Revista da FAE Vol 6 Nº 2, p 113 – 124 maio/dezembro de 2003.
- MONTGOMERY, D. **Introduction to Statistical Quality Control**: Third Edition, John Wiley & Sons, Inc; United States of America, 1997, 676 p.
- PANDE, P; NEUMAN, R; CAVANAGH, R. **Estratégia Seis Sigma**: Como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho: Qualitymark Ed, Rio Janeiro, 2004, 443 p.
- PANDE, P. **What is Six Sigma?**: Mc Graw-Hill Professional Ed. 2001. Disponível em: <http://site.ebrary.com/lib/buufsc/Top?channelName=buufsc&cpage=6>, Acessado em Julho 2005.
- PEREZ-WILSON, M. **Seis Sigma**: Compreendendo o Conceito, as Implicações e os Desafios: Qualitymark Ed. Rio de Janeiro, 2000, 283 p.
- PFEIFER, T; TORRES, F. **Manual de Gestión e Ingeniería de la Calidad**: Mira Editores, Zaragoza, España, 2002, 586 p.
- PYZDEK, T. **The Six Sigma Handbook**: Revised and Expanded: McGraw-Hill Professional, USA, 2003. Available on < www.print.google.com >, Accessed October 2005.
- ROTHER, M; SHOOK J. **Aprendendo a Enxergar**: Mapeando o Fluxo de Valor para Agregar Valor e Eliminar o Desperdício: Lean Institute Brasil. São Pulo, 2003, 99 p.
- SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção**: do ponto de vista da engenharia de produção. Bookman, Porto Alegre, 1996, 291p. (a)
- SHINGO, S. **Sistemas de Produção com Estoque Zero**: O Sistema Shingo para melhorias contínuas: Bookman, Porto Alegre, 1996, 380 p. (b)
- SIQUEIRA CAMPOS ASSOCIADOS. **Seis Sigma e a Organização que Aprende**: SAE Brasil. Disponível em <www.siqueiracampos.com/artiftdo.htm> Acesso em Maio de 2005.
- SIQUEIRA, M. **Seis Sigma- Presente e Futuro**. Siqueira Campos Associados: SAE Brasil. Disponível em <www.siqueiracampos.com/art_jan_03.htm> Acesso em Maio de 2005.
- SLACK, N; CHAMBERS, S; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**: Segunda Edição, Atlas Ed. São Paulo, 2002, 747 p.
- TIJERINA, J. **Comparación básica de las metodologías de análisis y solución de problemas**: Tecnológico de Monterrey. Revista Digital, Año 14, Nº 56, Octubre 2001. Disponible en: <www.mty.itesm.mx/die/ddre/transferencia/56/56-III.02.html>, accesado en Agosto de 2005.

UDOKA, S. **Lean Six Sigma: A road Map to Systematic Process Improvement**. North Carolina A&T Store University. Available on <http://isis.fastmail.usf.edu/ibl/Manutech%20papers/LEAN%20SIX%20SIGMA-UDOKA.3.pdf> > Accessed in August 2005.

USEVICIUS, L; FOGLIATTO, F. **Implantação da Metodologia Seis Sigma e Aplicação da Técnica Estatística Projeto de Experimentos na Resolução de Problemas e Otimização de Processos de Fabricação**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

WERKEMA, C. **Criando a Cultura Seis Sigma**: Qualitymark Ed; Rio de Janeiro, 2001, 253 p.

WOMACK, J; JONES, D; ROOS, Daniel. **A máquina que mudou o mundo**: Editora Campus: 4ª Edição. Rio de Janeiro, 1994, 347 p.

WOMACK, J; JONES, D. **A mentalidade Enxuta nas Empresas**: Lean Thinking: 5ª Edição, Editora Campus. Rio de Janeiro, 2004, 408 p.

APÊNDICE I **TABELA DE CONVERSÃO SEIS SIGMA**

Rendimento	DPMO	SIGMA
0	1000000	0
3,248	967515,5	0,1
6,559	934409,3	0,3
9,99	900101,7	0,4
13,591	864094,8	0,5
17,399	826006,3	0,6
21,44	785597,2	0,8
25,721	742789,0	0,9
30,233	697672,2	1,0
34,95	650502,2	1,1
39,831	601686,1	1,3
44,824	551758,5	1,4
49,865	501350,0	1,5
54,886	451150,8	1,6
59,813	401870,8	1,8
64,58	354199,4	1,9
69,123	308770,2	2,0
73,387	266130,0	2,1
77,328	226715,7	2,3
80,916	190840,2	2,4
84,131	158687,0	2,5
86,969	130313,1	2,6
89,434	105660,5	2,8
91,543	84571,9	2,9
93,319	66810,6	3,0
94,792	52083,1	3,1
95,994	40060,1	3,3
96,96	30396,8	3,4
97,725	22750,4	3,5
98,321	16793,4	3,6
98,778	12224,5	3,8
99,123	8774,5	3,9
99,379	6209,7	4,0
99,567	4332,5	4,1
99,702	2979,8	4,3
99,798	2020,2	4,4
99,865	1350,0	4,5
99,911	889,1	4,6
99,942	577,1	4,8
99,963	369,1	4,9
99,977	232,7	5,0
99,986	144,5	5,1
99,991	88,4	5,3
99,995	53,3	5,4
99,997	31,7	5,5
99,998	18,6	5,6
99,999	10,7	5,8
99,999	6,1	5,9
100	3,4	6,0

APÊNDICE II

QUESTIONÁRIO PARA IDENTIFICAÇÃO DE DESPERDÍCIO

Técnica dos 3 M's			
		Nome _____	Função _____
Origem de problemas	MUDA Desperdício	SIM	NÃO
Recursos Humanos	Existe trabalho que não agrega valor?		
	Existe desperdício de movimento?		
	Existe desperdício devido a mal planejamento?		
	As ferramentas certas estão no local certo na hora certa?		
Matérias primas	Os rendimentos estão baixos?		
	Matérias primas caras estão sendo usadas onde outras mais baratas poderiam estar sendo aproveitadas?		
	O índice de rejeição é elevado?		
	Existe desperdício de energia?		
	Existe desperdício devido ao projeto de processo?		
Equipamentos	Existe prevenção da corrosão?		
	Os equipamentos estão sendo sub-utilizados?		
	Existe desperdício devido a <i>lay out</i> inadequado?		
	Existe algum equipamento parado?		
	Os equipamentos e ferramentas estão sendo bem utilizados?		
Origem de problemas	MURA Inconsistência	SIM	NÃO
Recursos Humanos	Existem áreas onde as pessoas estão exaustas e outras onde não há nada para fazer?		
	Existe boa mistura de pessoal experiente com pessoal inexperiente?		
	As pessoas estão muito ocupadas certas horas e sem nada para fazer em outras?		
Matérias primas	Os materiais são de qualidade uniforme?		
	Existem irregularidades nas propriedades dos materiais?		
	Os produtos têm acabamento desigual?		
Equipamentos	As capacidades de produção dos diversos equipamentos estão bem balanceadas?		
	Existe equipamento sendo utilizado de forma não razoável ou com desperdício?		
Origem de problemas	MURI Insuficiência	SIM	NÃO
Recursos Humanos	Existe gente suficiente para enfrentar a carga de trabalho?		
	Existe algum trabalho que poderia ser feito por máquinas e está sendo feito manualmente?		
	Existe pessoas ficando muito cansadas ao fim do trabalho?		
Matérias primas	A resistência é suficiente para garantir segurança?		
	Existe alguma insuficiência devido ao projeto?		
	Existe alguma insuficiência em itens provenientes de fornecedores?		
Equipamentos	A vida das máquinas está sendo prejudicada por elas estarem sendo usadas acima da sua capacidade?		
	Existe a utilização de equipamentos de baixa precisão para tarefas de alta precisão?		
	Os equipamentos estão sendo suficientemente supervisionados?		

APÊNDICE III

FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO DO MODELO

Tópicos	Avaliação			
Conteúdo	Deficiente	Regular	Adequado	Muito bom
Abrangência do conteúdo				
Interesse do conteúdo para as práticas da empresa				
Seqüência do conteúdo				
Afinidade com a cultura da empresa				
Aportes às iniciativas de melhoria contínua				
Aportes ao sistema de Gestão da Qualidade				
Ferramentas				
Entendimento do fundamento do modelo				
Adequabilidade às necessidades da empresa				
Praticidade da aplicação dos passos				
Adequabilidade das ferramentas à realidade do dia-a-dia				
Agregação de valor ao processo de manufatura				
Respostas e resultados obtidos				
Velocidade de resposta na obtenção de soluções				
Concordância com as expectativas				
Aplicabilidade dos resultados obtidos				
Tempo de obtenção de respostas				
Comunicação				
Suficiência do treinamento para o uso				
Qualidade da documentação obtida durante a aplicação				
Facilidade de divulgação de resultados "para todos"				
Equipe				
Composição da equipe de melhoria contínua				
Participação dos membros da equipe				
Aplicabilidade				
Facilidade de uso regular				
Sustentabilidade do modelo				
Acessibilidade "para todos"				